



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RUAN EDUARDO CARNEIRO LUCAS

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM
DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS**

JOÃO PESSOA

2017

RUAN EDUARDO CARNEIRO LUCAS

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM
DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão do Curso para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia de
Produção, do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva

JOÃO PESSOA

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

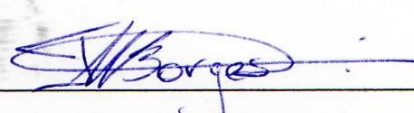
FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Ruan Eduardo Carneiro Lucas

Título do trabalho: CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM
DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS

Trabalho de Conclusão do Curso defendido e aprovado em 28/11/2017 pela banca
examinadora:


Orientador - Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva


Examinador interno - Prof. Dr. Fábio Moraes Borges


Examinador interno - Profa. Dr. Juliana Machion Gonçalves

L933c Lucas, Ruan Eduardo Carneiro

Conforto térmico em ambientes de ensino com VDT em diferentes regiões brasileiras. / Ruan Eduardo Carneiro Lucas. – João Pessoa, 2017.

75f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia de Produção)
Departamento de Engenharia de Produção - Campus I - UFPB /
Universidade Federal da Paraíba.

1. Conforto térmico 2. Percepção térmica 3. Ambiente de ensino 4.
VDT 5. Estudantes I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 62:658.5(043)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me proporcionado saúde física e mental para suportar todos os momentos da minha graduação.

A Jossana Carneiro Lucas e José Eduardo da Silva Lucas, por serem minhas referências e terem proporcionado todas as condições tangíveis e intangíveis durante minha graduação.

A Maria Odete Carneiro, por todo amor, preocupação, e apoio durante toda minha vida.

A Amanda Maria Carneiro Lucas, por todo apoio nos momentos difíceis.

A Emanuely Araújo Querino da Silva, por todo incentivo, carinho e amor.

Aos meus amigos, presentes em vida e aos que já se foram, por todos os momentos em que compartilhamos conselhos, orientações, ajudas, risadas, alegrias e tristezas.

Aos amigos dos Cursos de Engenharia de Produção Mecânica e Engenharia de Produção por todos os momentos compartilhados.

Aos amigos do Laboratório de Análise do Trabalho por todos os ensinamentos, orientações, e críticas construtivas.

A Erivaldo Lopes de Souza por todos os conselhos, orientações, sugestões e ensinamentos.

Ao professor Luiz Bueno da Silva, por ter aberto muitas portas durante minha graduação e ter me conduzido de forma tranquila nos projetos desenvolvidos durante minha trajetória acadêmica.

RESUMO

Entender a relação térmica que existe entre o indivíduo e um ambiente é importante quando se quer analisar como as condições existentes propiciam a realização das atividades de forma eficiente. Em escolas e universidades não é diferente, e entender como os estudantes sentem-se com relação ao seu ambiente de trabalho torna-se fundamental no âmbito educacional. Diante disso, o objetivo desta monografia é avaliar o conforto térmico dos estudantes em ambientes de ensino com *Video Display Terminals* (VDTs) de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior (IES) em diferentes regiões do Brasil. Para isso, foram realizados seis experimentos em ambientes localizados nas regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil. Cada ambiente foi analisado durante três dias consecutivos, no qual foi proposto um tipo de condição térmica (Desconforto por frio; Conforto; e Desconforto por calor) para cada dia através da fixação da temperatura dos aparelhos de ar-condicionado. Nos três dias foram mensurados os parâmetros ambientais, como temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante, umidade relativa através de um medidor de estresse térmico TGD-300 e uma estação microclimática BABUC. Em paralelo, aplicou-se um questionário acerca da percepção térmica (conforto, sensação e desejo térmico) dos estudantes quanto às condições propostas. Feito isso, observou-se que a adaptabilidade dos estudantes com suas respectivas regiões influenciou nos resultados obtidos. Assume-se isso pois os ambientes localizados na região Nordeste não apresentaram diferenças significativas na distribuição de sensação térmica. Além disso, essas amostras apresentaram desejo térmico similar. Por outro lado, verificou-se que a chance de sentir desconforto mediante aumento de 1° C da temperatura do ar foi maior nos ambientes da região sul e sudeste. Por fim, concluiu-se que para um período curto de tempo os estudantes da região nordeste tendem a estar em conforto para uma faixa de temperatura menor do que os dos outros ambientes analisados.

Palavras-chave: Conforto térmico. Percepção térmica. Ambiente de ensino. VDT. Estudantes.

ABSTRACT

Understanding the thermal relation that exists between the individual and an environment is important when one wants to analyze how the existent conditions propitiate the accomplishment of the activities of efficient form. In schools and universities it is no different and understanding how students feel about their work environment becomes a key educational role. Therefore, the objective of this monograph is to evaluate the thermal comfort of students in teaching environments with Video Display Terminals (VDTs) of Technology Centers of Higher Education Institutions (IES) in different regions of Brazil. For this, six experiments were carried out in environments located in the North, Northeast, South and Southeast regions of Brazil. Each environment was analyzed during three consecutive days, where a type of thermal condition (Cold Discomfort, Comfort, and Heat Discomfort) was proposed for each day by setting the temperature of the air conditioners. In the three days were measured the environmental parameters, such as Air temperature; air speed; radiant temperature; relative humidity through a TGD-300 thermal stress meter and a BABUC microclimatic station. In parallel, a questionnaire was applied on the thermal perception (comfort, sensation and thermal desire) of the students regarding the proposed conditions. This made it possible to observe that the students' adaptability with their respective regions influenced the results obtained. This is assumed because the environments located in the northeast region did not present significant differences in the distribution of thermal sensation; in addition, these samples showed similar thermal desire. On the other hand, it was verified that the chance of feeling discomfort by increasing 1 ° C of air temperature was higher in the environments of the South and Southeast. Finally, it was concluded that for a short period of time the students of the northeast region tend to be in comfort for a lower temperature range than the other analyzed environments.

Keywords: Thermal comfort. Thermal perception. Teaching environment. VDT. Students.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corpo humano como sistema.....	20
Figura 2: Funcionamento do corpo humano.....	22
Figura 3: Relação entre PMV e PPD	31
Figura 4: Natureza da pesquisa.....	33
Figura 5: Layout do ambiente	34
Figura 6: Layout do ambiente “B”	35
Figura 7: Layout do ambiente “C”	36
Figura 8: Layout do ambiente “D”	36
Figura 9: Layout do ambiente “E”	37
Figura 10: Layout do ambiente “F”	38
Figura 11: Escala de sensação térmica	41
Figura 12: Escala de conforto térmico.....	42
Figura 13: Escala de desejo térmico	42
Figura 14: Comparação entre sensação térmica e PMV para o dia de temperatura menor temperatura (20°C)	47
Figura 15: Comparação entre sensação térmica e o índice PMV para o dia de temperatura intermediária (24°C)	48
Figura 16: Comparação entre sensação térmica e o índice PMV para o dia de maior temperatura (30°C)	48
Figura 17: Comparação entre as chances de sentir desconforto.....	51
Figura 18: Comparação entre as chances de desejar o ambiente mais frio	53
Figura 19: Visualização dos intervalos de conforto.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Conceitos iniciais	19
Quadro 2: Mecanismos de trocas de calor	20
Quadro 3: Variáveis que influenciam no conforto	24
Quadro 4: Parâmetros ambientais.....	26
Quadro 5: Variáveis e indicadores da pesquisa.....	38
Quadro 6: Situações simuladas	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplificação da taxa metabólica para diferentes atividades	25
Tabela 2: Valores do isolamento térmicos da roupa	25
Tabela 3: Escala de sensação térmica	27
Tabela 4: Temperaturas média obtidas.....	44
Tabela 5: Sensação térmica predominante	45
Tabela 6: Percepção de conforto	46
Tabela 7: Correlação entre sensação térmica e o índice normativo	49
Tabela 8: Valores PPD obtidos.....	50
Tabela 9: Dados dos modelos de regressão para o conforto térmico	51
Tabela 10: Dados dos modelos de regressão para a sensação térmica	52
Tabela 11: Dados dos modelos de regressão para o desejo térmico.....	53
Tabela 12: Intervalos de conforto obtidos	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CT	Centro de Tecnologia
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HR	Umidade relativa (%)
IES	Instituto de Ensino Superior
ISO	International Standard Organization
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
PMV	Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote) (adimensional)
PPD	Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (Predicted Percentage of Dissatisfied) (%)
VDT	Video Display Terminal

LISTA DE SIMBOLOS

A	Área da superfície transversal ao fluxo de calor (W/m^2)
C	Quantidade de calor por convecção (W/m^2)
C_{res}	Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W/m^2)
E_{resp}	Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m^2)
E_{sk}	Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W/m^2)
f_{cl}	Razão de área do corpo vestido e corpo nu (adimensional)
h_c	Coeficiente de convecção ($\text{W/m}^2\text{°C}$)
HR	Umidade relativa (%)
I_{cl}	Isolamento térmico das roupas (clo)
K	Quantidade de calor (J)
M	Taxa metabólica (W/m^2)
p_a	Pressão de vapor parcial da água (kPa)
Q_{res}	Taxa total de perda de calor pela respiração (W/m^2);
Q_{sk}	Taxa total de perda de calor pela pele (W/m^2)
R	Troca de calor por radiação (W/m^2)
T	Trabalho mecânico (W/m^2)
t_a	Temperatura do ar (°C)
t_{cl}	Temperatura superficial das roupas (°C)
t_r	Temperatura radiante média (°C)
v_a	Velocidade do ar (m/s)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	16
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Transmissão de calor	20
2.2 Comportamento do corpo humano mediante alterações térmicas. 22	
2.2.1 Balanço térmico	24
2.3 Conforto térmico	24
2.4 Modelo de Fanger	27
2.5 Síntese das normas referente ao ambiente térmico	32
3. METODOLOGIA.....	34
3.1 Natureza da pesquisa.....	34
3.2 População e amostra	35
3.2.1 Ambiente A	35
3.2.2 Ambiente B	36
3.2.3 Ambiente C	36
3.2.4 Ambiente D	37
3.2.5 Ambiente E	38
3.2.6 Ambiente F.....	38
3.3 Variáveis e indicadores da pesquisa.....	39
3.4 Coleta de dados	40
3.4.1 Variáveis pessoais	41
3.5 Tratamento e análise de dados	43
4. RESULTADOS	45
4.1 Temperaturas médias obtidas.....	45

4.2	Análise da percepção térmica	46
4.3	Comparação entre sensação térmica e o índice PMV	48
4.4	Análise do índice PPD.....	50
4.5	Modelagem matemática	51
4.5.1	Influência da temperatura do ar na percepção de conforto	51
4.5.2	Influência da temperatura do ar na sensação térmica	53
4.5.3	Influência da temperatura do ar no desejo térmico	53
5.	DISCUSSÃO	57
6.	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXO 1- Questionário utilizado na avaliação da percepção térmica dos ocupantes	64
	APÊNDICE I – Rotinas utilizadas no software R	67

1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual consome parte do seu tempo em ambientes fechados, no qual a climatização normalmente é feita por dispositivos mecânicos. Porém, em alguns ambientes esse sistema de refrigeração não supre as necessidades dos indivíduos, ou seja, não conduz a um estado de conforto. Nessa perspectiva, as condições ambientais desses lugares podem trazer danos psicológicos e principalmente fisiológicos aos ocupantes, o que ratificam Conceição e Lúcio (2011) quando enfatizam que a qualidade de ambientes térmicos interiores pode influenciar significativamente na saúde e no conforto humano.

Os estudantes, por exemplo, passam a maior parte do seu dia em salas de aula ou em ambientes de ensino com *Video Display Terminal* (VDT) climatizados. Considera-se ambientes de ensino com VDT lugares que dispõem de aparatos tecnológicos que auxiliam no processo de ensino-aprendizagem. Esses lugares são ambientes fechados no qual as oportunidades de adaptação às condições físicas do local são limitadas durante o período de aulas (CORGNATI *et. al.*, 2009). Ou seja, as condições existentes e o tempo que os alunos passam em sala de aula não possibilitam a aclimação térmica. Assim, torna-se importante analisar as condições ergonômicas ambientais, entendendo as necessidades de adaptação e procurando alternativas na busca por um ambiente confortável que possa maximizar o desempenho dos ocupantes. Nesse contexto, faz-se necessário proporcionar aos estudantes estruturas físicas e condições ambientais de qualidade, visando estimular, assim, a memorização, percepção e a rapidez no raciocínio.

Em um mesmo ambiente os ocupantes tendem a apresentar respostas fisiológicas diferentes e, conseqüentemente, percepções diferentes. Logo, determinada condição térmica pode ser agradável para um indivíduo e desagradável para outro. Nesse contexto, Mors *et. al.* (2011) consideram que a percepção térmica é algo subjetivo e que fatores pessoais e psicológicos tendem a influenciá-la diretamente. Assim, para o entendimento dessa percepção existe o conceito de conforto térmico, que é definido por Coutinho (2005) como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico.

Além dos fatores pessoais como atividade e vestimenta, as condições ambientais como radiação, temperatura, velocidade e umidade do ar, entre outros, são os principais fatores que alteram o estado de conforto. Sendo assim, também é necessário

avaliar termicamente esses ambientes. Para isso, a norma ISO 7730 (2005) indica que essa avaliação é calculada a partir de dois índices: o *Predicted Mean Vote* (PMV) ou voto médio estimado; e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) ou percentual de pessoas insatisfeitas.

A avaliação térmica ambiental possibilita entender as condições existentes e indicar possíveis alterações que aumentem o bem-estar e a satisfação das pessoas. Corroborando com isso, Almeida e Freitas (2014) indicam que a qualidade ambiental interna dentro de uma sala de aula está relacionada diretamente com a saúde, conforto e desempenho dos alunos. De fato, a qualidade ambiental interior afeta não só a saúde e conforto, mas também a produtividade dos ocupantes, interferindo na eficiência de aprendizagem, com repercussão sobre a produção e os custos sociais (CORGNATI *et. al.*, 2009).

Diante do que foi exposto, assume-se que a avaliação das condições ambientais somado a compreensão da percepção térmica dos estudantes tende a possibilitar uma otimização do ambiente no aspecto térmico. Tal otimização possibilita a condição de conforto para a maioria dos indivíduos, resultando em um ambiente termicamente ideal para as práticas diárias e influenciando diretamente no processo de aprendizagem.

1.1 Justificativa

A presente monografia teve como base o projeto de pesquisa “Mudanças Climáticas e a Elevação da Temperatura: Implicações no conforto, na saúde e no desempenho de alunos em ambientes de ensino com VDTs (*News ICT*) nas regiões brasileiras”, coordenado pelo Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva e financiado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelos fundos setoriais CT-Agro, CT-Saúde e CT-Hidro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Dentro dos objetivos prévios desse projeto estava a análise do conforto e percepção térmica dos estudantes diante das mudanças climáticas. A importância dessa temática fica evidente quando se admite que a maioria dos estudantes de nível médio e superior passam parte da sua rotina diária nas instituições de ensino, muitas vezes sendo submetidos a condições térmicas distantes do ideal. Nesse sentido, Zomorodian *et. al.* (2016) indicam que os estudantes passam mais tempo nos prédios escolares do que em

qualquer outro local fechado; e evidencia a necessidade de disponibilizar aspectos térmicos confortáveis nos ambientes fechados dessas instituições.

É necessário proporcionar aspectos térmicos confortáveis em virtude do impacto direto no bem-estar de alunos e professores. Prova disso, é que Batiz (2009) verificou que na condição de neutralidade (conforto térmico) os alunos apresentam bom desempenho nos testes de atenção e memória. Em contrapartida, Zomorodian *et. al.* (2016) enfatizam que o desconforto térmico em ambientes de aprendizado proporciona a existência de condições insatisfatórias para professores e alunos. Logo, a existência dessas condições pode comprometer o equilíbrio corporal e afetar o processo de aprendizagem.

Dentro de uma sala de aula, os estudantes tendem a apresentar sensações térmicas diferentes mesmo submetidos às mesmas condições. Tal fato acontece em virtude de os ocupantes apresentarem fatores e condições pessoais distintas entre si, resultando em respostas fisiológicas e equilíbrios corporais diferentes. Nesse contexto, é que segundo Djongyang *et. al.* (2010), os indivíduos que ocupam o mesmo ambiente, pertencendo a uma mesma cultura e submetidos ao mesmo clima, tendem a indicar opiniões diferentes com relação ao conforto térmico, devido à combinação de fatores pessoais que afetam a percepção. Logo, analisar a percepção térmica de determinado grupo é importante em virtude das possíveis diferenças existentes.

Na Itália, por exemplo, Corgnati *et. al.* (2009) desenvolveu uma pesquisa em salas na cidade de Turim. A metodologia aplicada consistiu na medição de parâmetros físicos afim de que se pudesse calcular os índices normativos PMV e PPD. Foi feita também a avaliação subjetiva das condições ambientais, a partir de questionários para um total de 230 estudantes.

Com relação aos adolescentes ou pré-adolescentes as pesquisadoras Katafygiotou e Serghides (2014) realizaram um estudo de caso em uma escola secundária do Chipre. Durante o período de aula os parâmetros climáticos foram registrados minuto a minuto para que se pudesse calcular o PMV e o PPD. Simultaneamente com as medições de campo, questionários e entrevistas foram desenvolvidos a fim de estudar o conforto térmico. Ainda no continente europeu, Teli *et. al.* (2012) realizaram um estudo em Hampshire, Inglaterra. As salas eram ventiladas naturalmente e diferente das pesquisas citadas anteriormente não foi aplicado

questionários a respeito das condições térmicas, haja vista que a amostra era composta de crianças de 7 a 11 anos.

Os estudos de conforto térmico não se restringem apenas ao continente europeu. Na República Popular da China, Wang *et. al.* (2014) realizaram um estudo nas salas de aula das universidades em Harbin durante o inverno e a primavera. Através dessa pesquisa, foram analisadas as relações entre adaptação térmica e climas interiores, como também, se a mudança da temperatura interna podia influenciar no conforto. Na Coreia, Jung *et. al.* (2011) analisaram como as variáveis físicas afetam o conforto térmico, e compreenderam a percepção dos ocupantes quanto ao ambiente térmico. Ainda no continente asiático, Mishra e Ramgopal (2014) realizaram na Índia um estudo do conforto térmico em salas de aulas e em laboratórios. A pesquisa consistiu na medição dos parâmetros físicos dos ambientes, e na coleta de respostas subjetivas sobre a sensação térmica, preferência térmica, velocidade do ar e umidade.

Seguindo a linha de pesquisa dos estudos em laboratório, Hussin *et. al.* (2013) investigou as condições ambientais e o conforto dos ocupantes do campus de engenharia em uma universidade na Malásia. A metodologia foi a mesma na Índia, entretanto, os questionários subjetivos basearam-se na escala de sensação térmica de sete pontos, sendo utilizado para avaliar a sensação térmica dos ocupantes do laboratório.

No sul do continente asiático localiza-se a Indonésia. Nesse país, Hamzah *et. al.* (2016) analisaram as condições do ambiente e do conforto térmico em salas de aulas com ventilação natural. Nesse estudo foram medidas as variáveis térmicas; e realizou-se uma avaliação subjetiva acerca das questões pessoais e da percepção do ambiente térmico de 118 estudantes, e verificou-se se o índice normativo PMV compreendia perfeitamente a percepção dos indivíduos.

Por fim, Zaki *et. al.* (2017) investigaram a temperatura de conforto e o comportamento adaptativo de estudantes universitários na Malásia e no Japão. Os dados foram obtidos através de medições de parâmetros térmicos como: temperatura do ar externa, temperatura do ar interna, temperatura do globo, velocidade do ar e umidade relativa interna; e foi aplicado um questionário acerca das condições térmicas. Essas informações tornaram possível a investigação acerca do ambiente térmico.

Diante dos trabalhos supracitados constata-se a importância e diversidade do estudo do conforto térmico em salas de aula e em ambientes de ensino com VDT. Observa-se que para esse tipo de estudo é importante mensurar de forma precisa os parâmetros térmicos do ambiente. Destaca-se também a importância da análise subjetiva que permite compreender a real sensação dos ocupantes.

Mediante o cenário apresentado, o objetivo dessa monografia é avaliar o conforto térmico de estudantes em seis ambientes de ensino com VDT localizados em quatro regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Sudeste e Sul) quando submetidos às mesmas condições térmicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o conforto térmico dos estudantes em ambientes de ensino com VDT de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior (IES) localizados nas regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar a percepção térmica dos estudantes de cada ambiente de ensino;
- Comparar a sensação térmica dos ocupantes com os valores esperados pelo índice PMV;
- Analisar o índice PPD em cada ambiente;
- Analisar quantitativamente a percepção dos ocupantes;
- Estimar zonas de conforto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica propiciou uma compreensão mais precisa das temáticas abordadas nessa dissertação. Assim, são apresentados neste capítulo conceitos de calor; balanço térmico; conforto ambiental e térmico; avaliação normativa de ambientes termicamente moderados, entre outros.

2.1 Transmissão de calor

A interação térmica que existem entre o indivíduo e o ambiente passa pela recepção ou emissão de cargas térmicas. Esse processo acontece através da transferência de calor, que segundo Coutinho (2005) consiste na troca de energia realizada entre o sistema e o ambiente, ocasionado pela diferença de temperatura entre eles. Ainda nesse sentido, Saa (2006) indica que a transferência de calor é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura.

Para o entendimento dessa interação, torna-se necessário conhecer alguns conceitos básicos, como: sistema; temperatura; regime transitório; regime permanente; e balanço de energia (Quadro 1).

Quadro 1: Conceitos iniciais

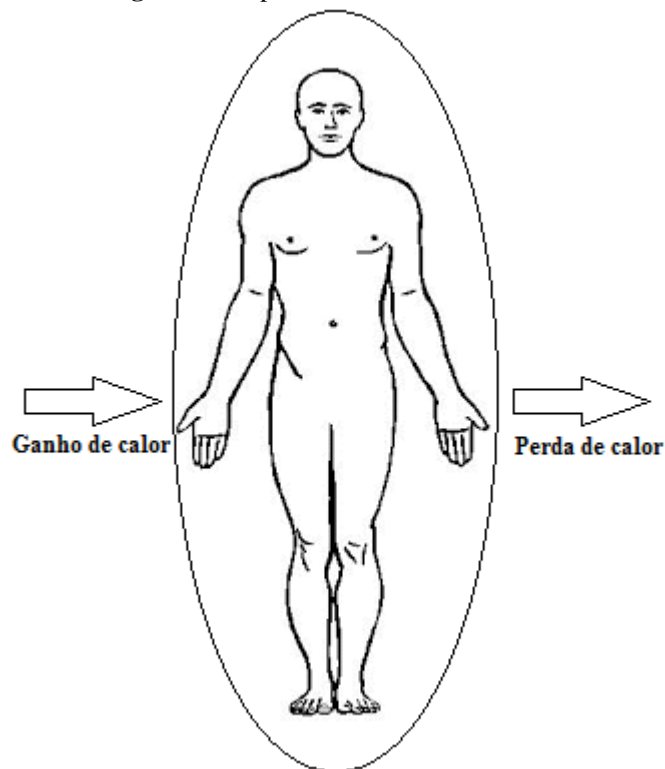
<ul style="list-style-type: none">• <u>Sistema</u>: É uma porção limitada da matéria retirada para análise.
<ul style="list-style-type: none">• <u>Temperatura</u>: É uma propriedade física que mede o nível de agitação das moléculas. Quanto maior o nível de agitação maior será a temperatura.
<ul style="list-style-type: none">• <u>Calor</u>: É a transferência de energia realizada entre o sistema e o ambiente, ocasionada pela diferença de temperatura entre eles.
<ul style="list-style-type: none">• <u>Regime transitório</u>: é um regime em que os parâmetros físicos de um sistema variam com o tempo.
<ul style="list-style-type: none">• <u>Regime permanente</u>: é um regime em que os parâmetros físicos permanecem constantes com o tempo.
<ul style="list-style-type: none">• <u>Balanço de energia</u>: é um processo através do qual se comparam as quantidades de calor que entram num sistema com as que saem do mesmo.

Fonte: Adaptado Coutinho (2005)

O corpo humano pode ser visto como um sistema cuja fronteira coincide com o conjunto pele-vestimenta, por onde cargas térmicas irão entrar e sair (Figura 1). O balanço térmico é coordenado pelo próprio corpo, que busca alternativas para dissipar o

saldo resultante. Uma carga sempre presente no balanço é o metabolismo, que depende da atividade que está sendo desempenhada, ou seja, atividades muito intensas vão conduzir a maiores ganhos do que atividades menos intensas.

Figura 1: Corpo humano como um sistema



Fonte: Elaboração própria (2017)

As trocas térmicas ocorrem através de mecanismos de transmissão de calor e massa. É nesse sentido que Lamberts *et. al.* (2005) indica que as trocas acontecem através dos processos de condução; convecção; radiação e evaporação. O quadro 2 detalha como acontece cada um desses.

Quadro 2: Mecanismos de trocas de calor

Processos	Descrição
<ul style="list-style-type: none"> Condução 	<p>“Na transmissão de calor por condução, característica dos sólidos, a energia é transmitida por meio de impactos entre os átomos constituintes do sistema e pelo deslocamento dos elétrons livres das regiões de alta temperatura para as de baixa temperatura (JORGE, 1990)”. Por exemplo, quando se coloca um material condutor em contato com uma superfície quente, inicia-se uma agitação das moléculas que posteriormente irão afetar as demais moléculas.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Convecção 	<p>A convecção ocorre quando um fluido entra em contato com uma superfície sólida. Segundo Coutinho (2005), em contato com o sólido, as</p>

	moléculas de um fluido se aquecem, ficam mais leves e sobem dando lugar a moléculas mais frias e pesadas que, como as anteriores, recebem calor do sólido, ficam mais leves e sobem, em ciclos que se repetem. Este processo é conhecido como convecção livre. A aplicação de um ventilador ou do vento acelera a troca das moléculas, sendo este fenômeno conhecido como ventilação forçada.
• Radiação	A radiação consiste na transferência de calor entre corpos afastados por meio de ondas eletromagnéticas. Considera-se que todo corpo que apresenta temperatura superior a -273°C emite radiação (COUTINHO, 2005).
• Evaporação	A evaporação é um processo no qual as moléculas ganham energia suficiente para mudar de um estado para o outro. Observa-se que essa passagem pode ocorrer do estado líquido para o gasoso.

Fonte: Adaptado de Jorge (1990); Coutinho (2005)

2.2 Comportamento do corpo humano mediante alterações térmicas

O corpo humano apresenta dois tipos de temperatura na sua interação com o ambiente. Uma temperatura neutra, que é definida por Fanger (1970) como sendo uma condição na qual o indivíduo está em neutralidade térmica, isto é, situação em que não prefira sentir nem mais frio, nem mais calor no ambiente; e uma temperatura interna, temperatura comum a todos os indivíduos no valor aproximado de 37°C .

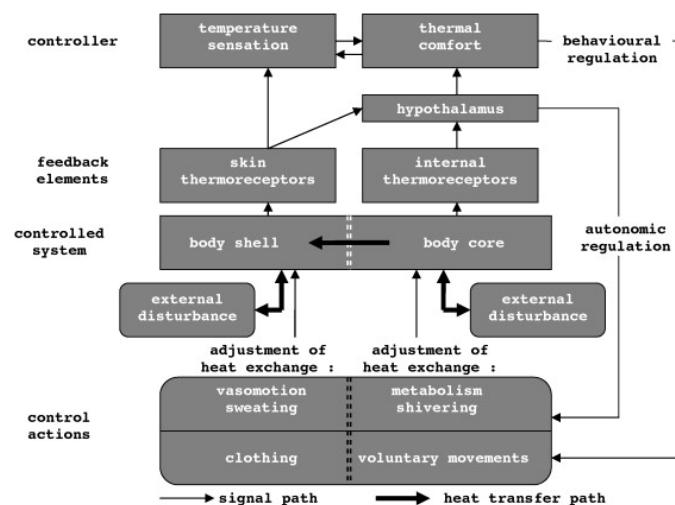
Os mecanismos termorreguladores são dispositivos que buscam alternativas e criam condições para que a temperatura interna permaneça sempre constante naquele valor (COUTINHO, 2005). Ou seja, para qualquer alteração que ocorra, seja aumento ou diminuição da temperatura, o organismo vai buscar alternativas para que temperatura interna esperada seja atingida novamente.

De acordo com Blatteis (1997), o corpo humano possui dois tipos de sensores: de alta temperatura localizado no hipotálamo e no núcleo do corpo; e um de baixa temperatura distribuídos por toda a pele. Esses sensores enviam mensagens ao cérebro com uma frequência proporcional as alterações por eles notadas. Os sensores de alta temperatura enviam impulsos ao mecanismo termorregulador e ao córtex quando a temperatura do sangue aumenta. Já os de baixa, enviam impulsos ao hipotálamo e ao córtex quando a temperatura da pele começa a cair. O córtex por sua vez responde com atos conscientes, enquanto que o mecanismo termorregulador controla inconscientemente a temperatura.

Em relação ao córtex, os processos que se destacam são: para temperaturas internas acima de 37° C a vasodilatação, que é a dilatação dos vasos sanguíneos periféricos para que haja maior vazão de sangue e do fluxo de calor a partir da pele; e quando a vasodilatação não é suficiente ocorre o processo de sudorese, ou seja, o indivíduo passa a eliminar o calor por evaporação. Para temperaturas internas abaixo de 37°C ocorre um processo de vasoconstricção, que é a redução do diâmetro dos vasos sanguíneos visando a menor vazão do fluxo sanguíneo e de perda de calor.

De acordo com Yao *et. al.* (2009), os ocupantes de um determinado ambiente podem atingir o conforto térmico através de pequenas ações inconscientes, seja adicionar ou retirar roupas, beber água gelada, abrir/fechar janelas, ligar / desligar ventiladores. São ações orientadas pelo córtex cerebral na busca pela temperatura interna adequada. A Figura 2 esquematiza o que foi retratado.

Figura 2: Funcionamento do corpo mediante alterações na temperatura interna



Fonte: Djongyang *et. al.* (2010)

2.2.1 Balanço térmico

O corpo humano desempenha atividades internas e externas que geram calor e pode se acumular no seu interior. Em contrapartida, o corpo dispõe de um conjunto de mecanismos que trabalham na dissipação desta carga térmica. Nesse cenário, o balanço térmico demonstrado pela equação (1) expressa a relação de entrada e saída do fluxo de calor no organismo.

$$M - T = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad (1)$$

sendo:

M - Geração da taxa metabólica (W /m²);

T- Trabalho mecânico (W/m²);

C_{RES} - Troca por convecção no trato respiratório (W/m²);

E_{RES} - Troca por evaporação no trato respiratório (W/m²);

K - Troca de calor por condução (W/m²);

C - Troca de calor por convecção (W/m²);

R - Troca de calor por radiação (W/m²);

S - Armazenamento de calor, acumulando-se no corpo (S/m²).

O cálculo do balanço térmico é definido pela ISO 7793 (Equação 1) e leva em consideração alguns parâmetros, como taxa metabólica do corpo na realização da atividade; troca de calor por condução; por convecção; por radiação; perdas por evaporação no trato respiratório e na pele; e troca por convecção também no trato respiratório. Analisando essa equação infere-se que o corpo estará em equilíbrio quando a taxa de calor absorvida for igual a taxa de calor dissipada, e o armazenamento seja nulo.

2.3 Conforto térmico

Segundo Bernardi e Kowaltowski (2006) o conforto ambiental está ligado à efetividade dos fatores térmicos, lumínicos e acústicos. Ou seja, a forma como as condições térmicas, acústicas e de iluminação estão sendo disponibilizadas vai indicar a existência ou não da condição de conforto para o indivíduo no ambiente. Corroborando isso, a American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers –

ASHRAE (2006) indica que o conforto ambiental pode ser definido como o ajustamento do indivíduo ao ambiente resultando em uma condição de satisfação percebida. Entretanto, as singularidades de cada ocupante também afetam na percepção de conforto. Prova disso é que Frota e Schiffer (2001) indicam que essa condição é resultado de uma série de variáveis que se dividem em humanas e ambientais.

Como mencionado anteriormente, as condições térmicas consistem em um dos fatores que impactam no conforto ambiental. Tais condições podem ser representadas pelo conforto térmico, que consiste em um estado psicológico em que o indivíduo apresenta contentamento com os parâmetros termoambientais do local no qual está inserido. A ASHRAE 55 (2006) por sua vez o define como sendo uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Com a existência dessa condição, os ocupantes tendem a desempenhar suas atividades de forma mais precisa e eficiente, influenciando benéficamente o seu desempenho.

Segundo Coutinho (2005), o conforto térmico necessita de três condições para ocorrer: neutralidade térmica, que consiste em manter a temperatura neutra do corpo humano constante; taxa de suor liberada sobre a pele e a temperatura da pele têm que ser compatíveis com a atividade realizada; e por último, o indivíduo não pode estar sendo submetido a nenhum desconforto localizado, ou seja, nenhuma parte do corpo pode estar submetida a uma fonte constante ou intermitente de fluxos térmicos. O Quadro 3 mostra os parâmetros de natureza pessoal e ambiental que influenciam o estado de conforto (Quadro 3).

Quadro 3: Variáveis que influenciam no conforto

Natureza	Variáveis
Ambiental	Temperatura de bulbo seco (°C) Temperatura radiante média (°C) Velocidade do ar (m/s) Umidade do ar (K/Pa)
Pessoal	Atividade desempenhada (W/m²) Resistência térmica das roupas (clo)

Fonte: Elaboração própria (2017)

Com relação aos parâmetros pessoais, a atividade desempenhada pelo indivíduo vai influenciar na taxa metabólica (Tabela 1); e a resistência térmica da roupa (Tabela 2), dada em clo, vai influenciar nas trocas térmicas entre o corpo e o ambiente. Com

relação aos parâmetros ambientais, eles estão descritos na norma ISO 7726 (1998) e estão detalhados no Quadro 4.

Tabela 1: Exemplificação da taxa metabólica para diferentes atividades

Atividade	Metabolismo (W/m²)
Reclinado	46
Sentado, relaxando	58
Atividades sedentárias (escritório, escola, etc.)	70
Fazendo compras, atividades laboratoriais	93
Trabalhos domésticos	116
Caminhando em local plano a 2km/h	110
Caminhando em local plano a 3km/h	140
Caminhando em local plano a 4km/h	165
Caminhando em local plano a 5km/h	200

Fonte: Adaptado ISO 7730/2005

Tabela 2: Valores do isolamento térmico das roupas

Vestimenta	Isolamento térmico (Icl)	
	Clo	m².°C/W
Cueca, camiseta sem manga, short, meias leves e sandálias.	0.18	0.028
Cueca, bermuda, camiseta de manga curta, sapatos.	0.26	0.040
Cueca, calça leve, camisa de manga curtas, meias e sapatos.	0.35	0.054
Cueca, calça leve, camisa leve de manga compridas, meias e sapatos.	0.46	0.071
Cueca, calça leve, camisa leve de manga compridas, meias, sapatos e paletó leve.	0.71	0.110
Calcinha, sutiã, sapatos, saia curta leve e blusa leve de mangas curtas.	0.25	0.039
Calcinha, sutiã, sapatos, bermuda e blusa leve de mangas curtas.	0.26	0.040
Calcinha, sutiã, sapatos, vestido leve sem mangas.	0.31	0.048
Calcinha, sutiã, sapatos, calça leve e blusa leve.	0.35	0.054
Calcinha, sutiã + meia calça, sapatos, vestido leve sem mangas.	0.41	0.063

Fonte: Adaptado Coutinho (2005)

Quadro 4: Parâmetros ambientais

Temperatura de bulbo seco	A temperatura de bulbo seco é popularmente conhecida como temperatura do ar. É uma das principais variáveis ambientais que influencia no conforto térmico, pois impacta diretamente nas trocas de calor por convecção entre o corpo e o ar.
Temperatura radiante média	A temperatura radiante média tem influência no calor perdido através da radiação do corpo. Esse tipo de temperatura indica o nível de radiação térmica atuando no ambiente.
Velocidade do ar	A intensidade da ventilação vai influenciar no conforto e na sensação térmica. Isso acontece, pois, essa variável tem influência nas trocas de calor através dos processos de convecção e evaporação.
Umidade do ar	A umidade do ar indica a quantidade/proporção de água presente no ar. Tal variável influencia diretamente nas perdas de calor por evaporação.

Fonte: Elaboração própria (2017)

2.4 Modelo de Fanger

O principal estudo da área de conforto térmico foi desenvolvido por Fanger (1970) através de um experimento realizado com 1296 indivíduos em uma câmara climatizada, com todos os parâmetros térmicos controlados.

Nesse experimento a atividade e as roupas foram padronizadas. A partir disso, os indivíduos foram submetidos a diferentes condições ambientais, visando identificar as sensações térmicas de acordo com a escala de sete pontos da ASHRAE (Tabela 3); e analisar a influência das variáveis pessoais e dos parâmetros térmicos.

Tabela 3: Escala de sensação térmica

(-3)	Muito frio
(-2)	Frio
(-1)	Levemente Frio
(0)	Neutro
(1)	Levemente quente
(2)	Quente
(3)	Muito quente

Fonte: Adaptado ASHRAE (2013)

Os resultados obtidos nesse estudo propiciaram a aplicação de um modelo, que ficou conhecido como modelo de Fanger. Nesse sentido, Djongyang *et. al.* (2010) explicaram que esse modelo associou a teoria do balanço térmico com a fisiologia da termorregulação para determinar o intervalo das temperaturas de conforto para os indivíduos em determinado ambiente.

Esse modelo levou em consideração as seguintes variáveis: temperatura do ar; temperatura radiante média; velocidade do ar; umidade relativa do ar; taxa metabólica e isolamento térmico da roupa. Para representa-lo foram utilizados dois índices: *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD).

Na língua portuguesa o índice PMV é conhecido como Voto Médio Estimado, e de acordo com Djongyang *et. al.* (2010) esse índice prevê a sensação térmica das pessoas presente num ambiente de acordo com a escala de sensação da ASHRAE. O PPD por sua vez, é um índice derivado do anterior, e que vai indicar a porcentagem de indivíduos que não estão satisfeitos com as condições térmicas.

Por fim, assumiu-se que o estudo desenvolvido por Fanger (1970) é tido como a referência para toda e qualquer pesquisa na área de conforto térmico. Prova disso é que os referidos índices são utilizados em todo o mundo para prever e avaliar o conforto térmico, sendo reconhecidos como padrão internacional através da norma ISO 7730/2005 e da ASHRAE 55 (2010).

Ambientes termicamente moderados são lugares que possivelmente existe o conforto térmico, por exemplo, sala de aula, bibliotecas, laboratórios, entre outros. Segundo a norma ISO 7730 (2005), a avaliação desses ambientes é realizada a partir dos dois índices desenvolvidos por Fanger (1970).

Ter Mors *et. al.* (2011) explicam que o cálculo do PMV leva em consideração as propriedades termo fisiológicas dos seres humanos e seu equilíbrio térmico com o meio ambiente. Lamberts *et. al.* (2005) por sua vez demonstraram a equação desse índice a partir do balanço térmico como se pode observar abaixo.

Assumindo a equação do balanço térmico como sendo:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} = (C + R + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES}) \quad (1)$$

sendo:

M= Taxa metabólica de produção de calor (W/m²);

W= Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W/m²), sendo que para maioria das atividades humanas esse trabalho é nulo

Q_{sk}= Taxa total de perda de calor pela pele (W/m²), igual à perda de calor pela evaporação mais condução mais radiação.

Q_{res}= Taxa total de perda de calor pela respiração (W/m²);

C+R= Perda de calor sensível pela pele (W/m²) – Convecção e radiação. Seu valor é igual à perda de calor por condução até a superfície externa das roupas;

E_{sk}= Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W/m²);

C_{res}= Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W/m²);

E_{resp}= Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m²).

Sendo assim, a expressão do balanço térmico pode ser reescrita da seguinte forma:

$$(M - W) - C_{RES} - E_{SK} - E_{RES} = K_{CL} = C + R \quad (2)$$

Assumindo que:

$$E_{SK} = 3,05 [5,73 - 0,007(M - W) - p_a] + 0,42[(M - W) - 58,15] \quad (3)$$

$$E_{RES} = 0,0173M(5,87 - p_a) \quad (4)$$

$$C_{RES} = 0,0014M(34 - t_a) \quad (5)$$

$$K_{CL} = \frac{[35,7 - 0,028 (M - W)] - t_{cl}}{0,155 \cdot I_{cl}} \quad (6)$$

$$R = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad (7)$$

$$C = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad (8)$$

E substituindo as equações 3,4,5,6,7 e 8 na equação do balanço térmico (Equação 1), têm-se o seguinte resultado:

$$(M - W) - 3,05 * [5,73 - 0,007 * (M - W) - P_a] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 0,0173 * M * (5,87 - P_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) = \frac{[35,7 - 0,28 * (M - W)] - t_{cl}}{0,155 * I_{cl}} = 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - T_a) \quad (9)$$

sendo

t_a = Temperatura do ar (°C);

t_{cl} = Temperatura superficial das roupas (°C);

I_{cl} = Isolamento térmico das roupas (clo);

f_{cl} = Razão de área do corpo vestido e corpo nu (Adimensional);

t_r = Temperatura radiante média (°C);

h_c = Coeficiente de convecção entre o ar e roupas (W/m².°C).

Quando se compara a parte esquerda da equação 9 com a parte direita, obtêm-se a equação de conforto térmico (Equação 10) a partir dos conceitos de Fanger (1970) contidos nas normas regulamentadoras.

$$M - 3,05 * [5,73 - 0,007 * M - P_a] - 0,42 * [M - 58,15] - 0,0173 * M * (5,87 - P_a) - 0,0014 * M * (34 - T_a) = 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \quad (10)$$

Entretanto, em alguns momentos ocorrem desvios do balanço térmico, ou seja, a razão entre a geração e dissipação de calor é diferente. Logo, essa diferença recebe o nome de “carga térmica sobre o corpo”. A equação 11 expressa essa carga térmica (L):

$$L = M - 3,05 * [5,73 - 0,007 * M - P_a] - 0,42 * [M - 58,15] - 0,0173 * M * (5,87 - P_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) = 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \quad (11)$$

A equação de conforto térmico (Equação 10) foi expandida para englobar o maior número de sensações térmicas. Para isso, Fanger (1970) desenvolveu o índice PMV, que prever a sensação térmica dos indivíduos, e que pode ser calculado conforme a equação 12.

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028).L \quad (12)$$

sendo:

PMV= voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico;

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo;

L = Carga térmica atuante sobre o corpo.

A norma ISO 7730/2005 trata a equação do PMV de forma mais detalhada, ou seja, a equação da carga térmica (Equação 11) é aplicada na equação 12. Logo, obtém-se a seguinte equação:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) * [(M - W) - 3,05 * \{5,73 - 0,007 * (M - W) - Pa\} - 0,42 * \{(M - W) - 58,15\} - 0,0173 * M * (5,87 - Pa) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} * f_{cl} * \{t_{cl} + 274\}^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)] \quad (13)$$

sendo:

var = Velocidade relativa do ar, em m/s

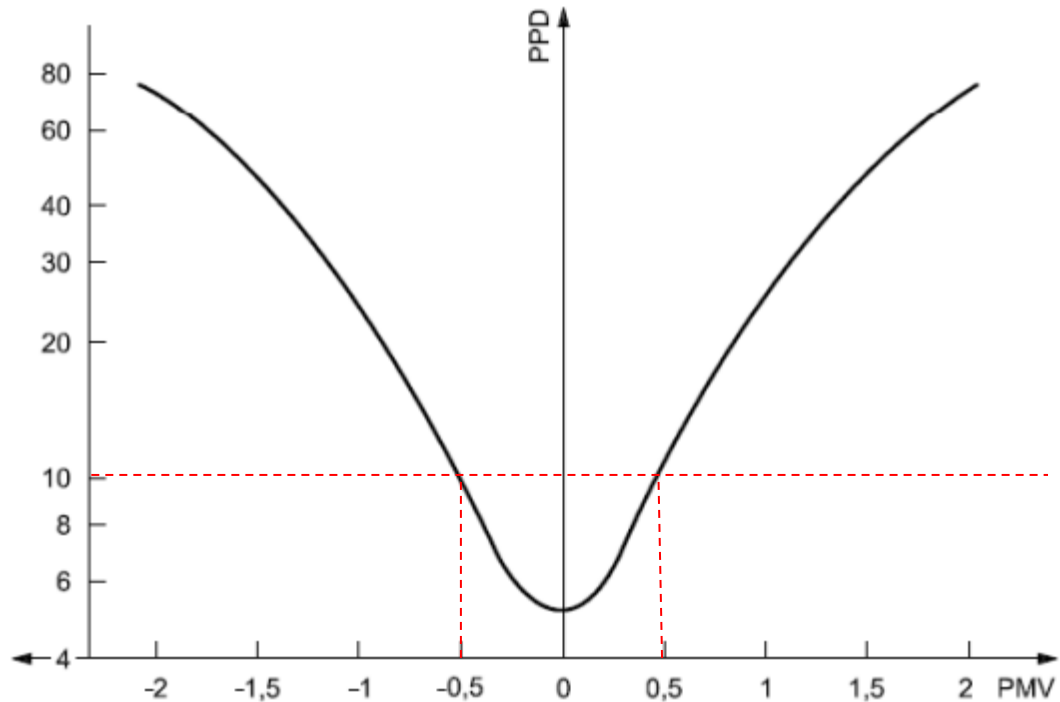
pa = Pressão parcial do vapor de água, em Pa;

A partir do resultado da equação anterior, calcula-se outro índice, o PPD (Equação 14). Djongyang *et. al.* (2010) o define como sendo a percentagem de pessoas que estão inclinados a reclamar das condições térmicas propostas. Ou seja, esse índice toma como base a percentagem do grupo de pessoas que queriam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio.

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (14)$$

A Equação (14) indica que nas condições ideais (PMV nulo) o valor do índice PPD 5%. Diante da inexistência de um ambiente em que todos os indivíduos estejam satisfeitos com as condições térmicas, a norma ISO 7730/2005 recomenda que o valor do índice PPD não deve ultrapassar 10%. A figura 2 mostra a relação entre os referidos índices.

Figura 3: Relação entre PMV e PPD



Fonte: Lamberts et. al. (2005); ISO 7730 (2005)

2.5 Síntese das normas referente ao ambiente térmico

A norma ISO 10551/1995 é voltada para a análise de parâmetros subjetivos. Ou seja, ela disponibiliza informações para o uso e adaptação de escalas de preferências térmica. Entre essas preferências encontram-se escalas de percepção, aceitabilidade e tolerância térmica. Sendo assim, visa obter a opinião dos usuários de um determinado ambiente acerca das condições térmicas a que estão submetidos.

A norma ISO 7726/1998 tem como objetivo especificar as características necessárias dos equipamentos para mensuração dos parâmetros físicos, além de especificar os métodos de mensuração, como posição do equipamento e duração da medição, visando padronizar a mensuração e a captação de informações. Ou seja, esta norma define os padrões e orienta os processos de medição dos parâmetros físicos em ambientes internos e externos.

Com relação à norma ISO 7730/2005, assume-se que ela foi baseada em vários estudos, entretanto, o estudo de Fanger (1970) foi o mais relevante nesse contexto. Sendo assim, o objetivo principal dessa norma é apresentar e propor um método para o cálculo da sensação térmica (Índice PMV), e o grau de desconforto (Índice PPD) das

peças expostas a um ambiente termicamente moderado. Além disso, ela especifica as condições necessárias para propiciar o conforto térmico em um determinado ambiente.

Por fim, a ASHRAE 55/2013 estabelece as condições mínimas para que um ambiente térmico se torne aceitável. Logo, ela especifica um conjunto de condições, que combinam parâmetros térmicos e pessoais visando tornar o ambiente mais propício à ocupação e desempenho das atividades humanas de forma eficiente.

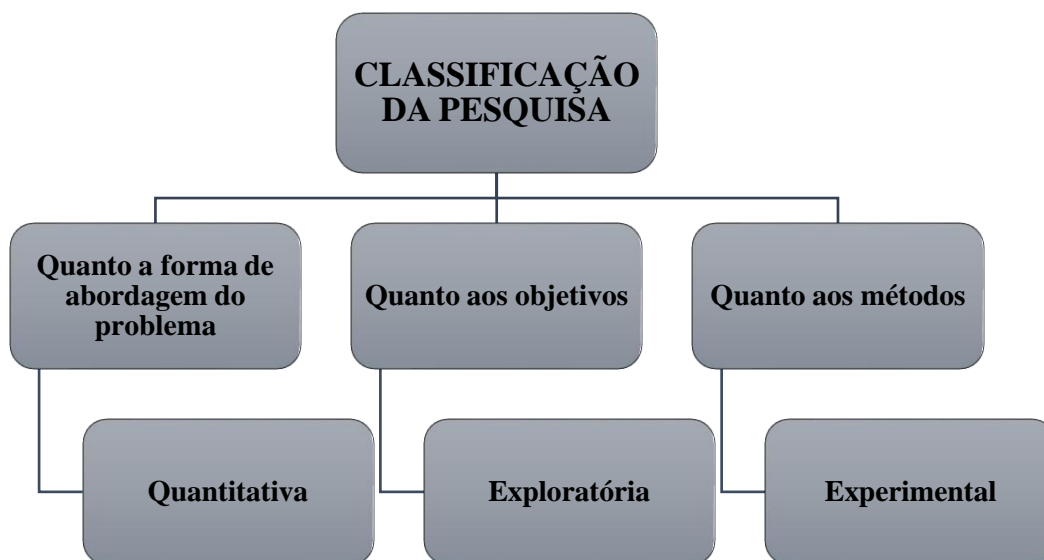
3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na presente monografia foi subdividida em: Natureza da pesquisa; População e amostra; Variáveis e indicadores da pesquisa; Coleta de dados; e por último, Tratamento e análise dos dados.

3.1 Natureza da pesquisa

O presente trabalho trata de uma pesquisa aplicada com uma abordagem quantitativa, pois procurou-se trabalhar com uma análise baseada nos fundamentos matemáticos e estatísticos. Nesse sentido, Minayo e Sanches (1993) indicam que os fundamentos matemáticos têm uma capacidade descritiva, representativa e interpretativa. Com relação aos objetivos, caracterizou-se como exploratória, pois proporcionou maior entendimento sobre a importância do conforto térmico em ambientes de ensino. Nesse sentido, Prodanov e Freitas (2013) indicam que esse tipo de pesquisa proporciona mais informações acerca de um tema em investigação. Por fim, com relação aos métodos assume-se que é uma pesquisa experimental, em função da manipulação dos parâmetros térmicos para compreensão das variáveis analisadas. A figura 4 retrata graficamente o enquadramento da pesquisa.

Figura 4: Natureza da pesquisa



Fonte: Elaboração própria (2017)

3.2 População e amostra

O estudo foi realizado em seis ambientes de ensino, com uma média de 20 alunos por sala (ambientes A,B,C,D,E e F) pertencentes a instituições de ensino superior (IES) de diferentes regiões do Brasil. Considerou-se que esses locais eram laboratórios de informática climatizados, e que atualmente são conhecidos como ambientes de ensino com VDT, pois possuem aparatos tecnológicos (computadores, datashow, wireless) que auxiliam no processo de ensino-aprendizagem.

Para garantir uma amostra homogênea e que permitisse a comparação entre os ambientes definiu-se alguns critérios de inclusão. Assumiu-se que os estudantes fossem das ciências exatas, tivessem idade entre 17 e 30 anos, possuíssem boas condições de saúde, ou seja, não apresentassem doenças cardiovasculares ou crônicas, não apresentassem um Índice de Massa Corporal (IMC) superior a 30 e, por último, se comprometerem-se em participar dos três dias da pesquisa.

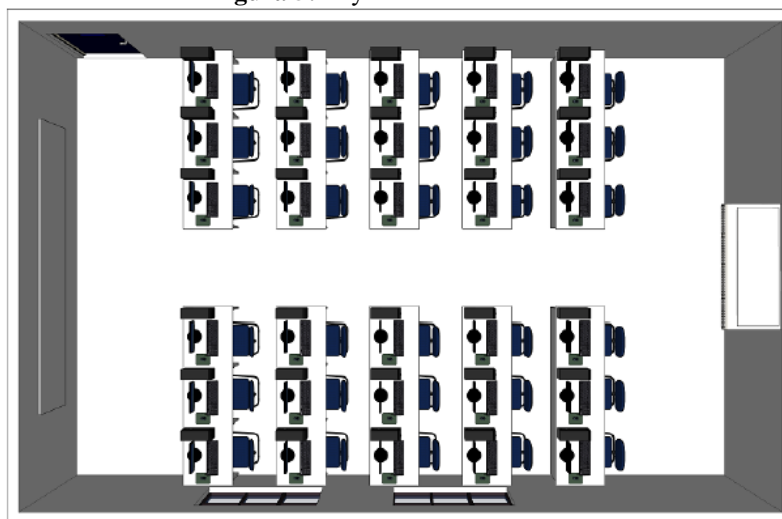
A localização e as características de cada ambiente estão descritas abaixo.

3.2.1 Ambiente A

O ambiente “A” pertence a uma faculdade privada localizada na cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba, região nordeste; com área de 76,44 m²; ocupado por 12 bancadas com 3 computadores cada, totalizando 36 postos de trabalho; há um sistema de climatização tipo Split; a iluminação é artificial; e apresenta duas janelas com proteções na cor preta que impediam o fluxo da energia solar e da iluminação natural.

. A figura 5 retrata o layout desse ambiente.

Figura 5: Layout do Ambiente “A”



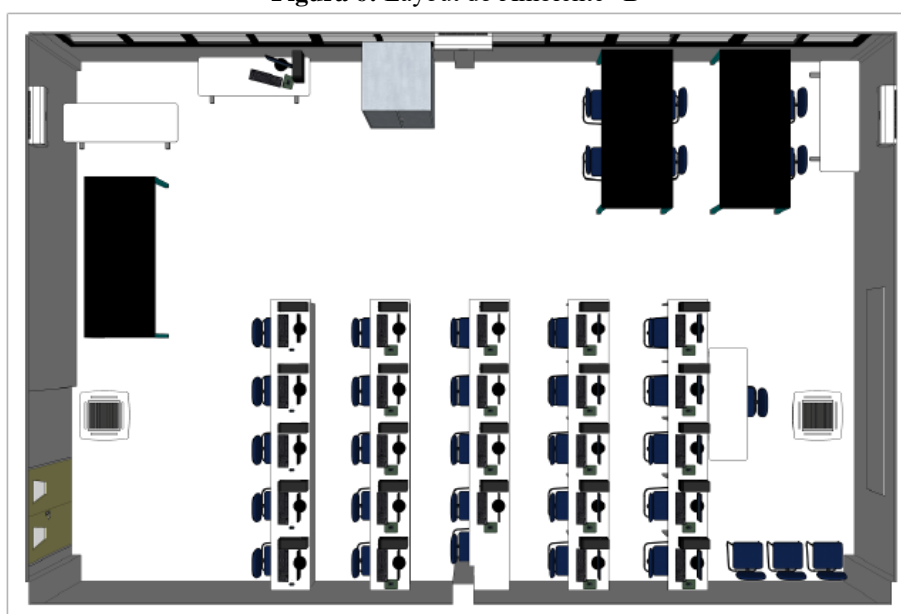
Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.2.2 Ambiente B

O ambiente “B” estava situado em uma universidade pública localizada na cidade de Petrolina, estado de Pernambuco, região nordeste. Esse ambiente possuía 100 m²; ocupado por 5 bancadas com 5 computadores cada, totalizando 25 postos de trabalho; por fim, continha bancadas e cadeiras para livre utilização.

O ambiente possuía climatização mecânica através de dois aparelhos do tipo Split; apresentava iluminação artificial; e possuía seis janelas com proteção contra incidência direta da radiação solar. A figura 6 retrata o layout desse ambiente.

Figura 6: Layout do Ambiente “B”



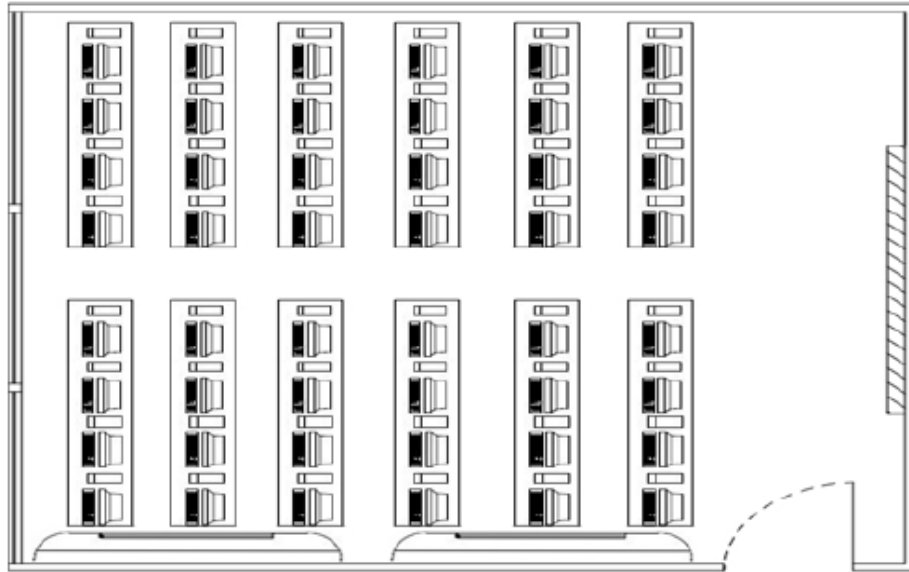
Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.2.3 Ambiente C

O ambiente “C” pertence à Universidade Federal do Piauí, localizada na cidade de Teresina, estado do Piauí, região nordeste. O ambiente possui uma área de cerca de 112 m², ocupada por 10 bancadas que possuíam no seu total 48 computadores. A figura 7 retrata o layout desse local.

O ambiente é climatizado por dois aparelhos do tipo Split; apresenta iluminação artificial; e possuía duas janelas que permite em determinados momentos a iluminação natural.

Figura 7: Layout do Ambiente “C”



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.2.4 Ambiente D

O ambiente “D” estava situado na Universidade Federal do Amazonas, localizada cidade de Manaus, estado do Amazonas, região norte. O ambiente possui uma área de cerca 70 m²; ocupada por 10 bancadas com 3 computadores cada, totalizando 30 estações de trabalho. A figura 8 retrata o layout desse local.

O ambiente é climatizado por um aparelho do tipo Split; apresenta iluminação artificial; e possui as paredes laterais compostas por janelas que propiciam iluminação natural durante o dia.

Figura 8: Layout do Ambiente “D”



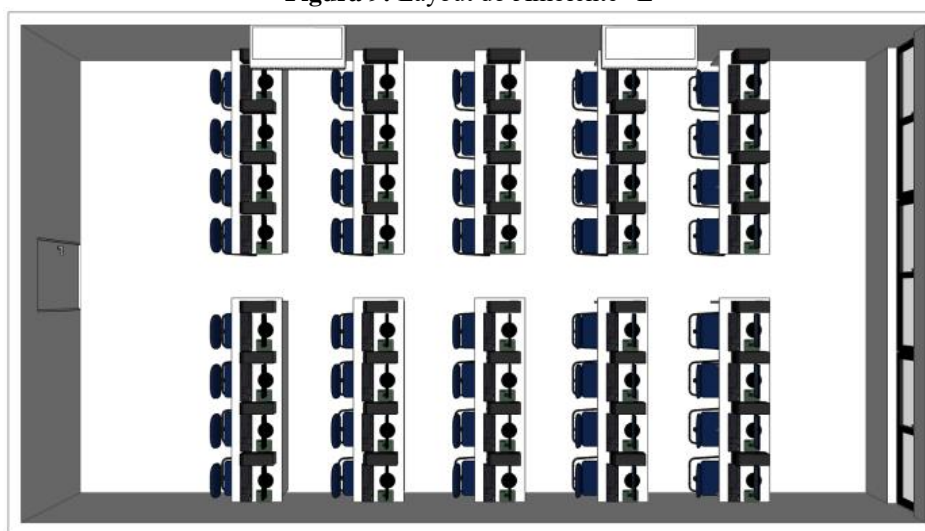
Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.2.5 Ambiente E

O ambiente “E” estava situado no Instituto de Matemática da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos, estado de São Paulo, região sudeste. O ambiente possui uma área de 61,68 m², sendo ocupado por 10 bancadas com 4 estações cada, totalizando 40 estações de trabalho.

O ambiente é climatizado com dois aparelhos do tipo Split, apresentando iluminação artificial, sendo toda a parede inferior dotada de janelas. A figura 9 retrata o layout desse ambiente.

Figura 9: Layout do Ambiente “E”



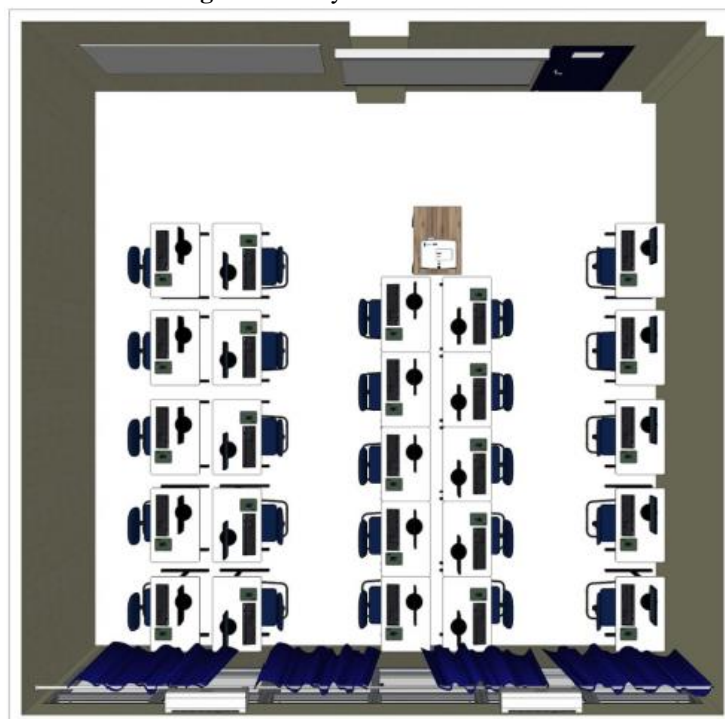
Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.2.6 Ambiente F

O ambiente “F” pertence à Universidade Federal de Santa Catarina, campus de Florianópolis, estado de Santa Catarina, região sul. Esse ambiente possui uma área de aproximadamente 49,7 m²; ocupada por 25 estações de trabalho.

O ambiente é climatizado com dois aparelhos do tipo Split; possui iluminação artificial e apresenta a parede inferior composta por três janelas vedadas por cortinas. A figura 10 retrata o layout desse local.

Figura 10: Layout do Ambiente “F”



Fonte: Dados da pesquisa (2017)

3.3 Variáveis e indicadores da pesquisa

As variáveis e os indicadores analisados no presente estudo estão descritos no quadro 5. Observa-se que estão classificados em parâmetros de conforto; e parâmetros subjetivos.

Quadro 5: Variáveis e indicadores da pesquisa

Tipo	Variáveis	Indicadores
Parâmetros de conforto	Pessoais	Atividade desempenha (W/m^2); Isolamento térmico das vestes (ICL); Resistência térmica da vestimenta (clo); IMC
	Ambientais	Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); Temperatura radiante média ($^{\circ}\text{C}$); Pressão parcial (KPa); Velocidade do ar (m/s).
Parâmetros subjetivos	Sensação térmica Desejo térmico	Escala de sete pontos baseado na norma ISO 10551/1995.

Fonte: Elaboração própria (2017)

3.4 Coleta de dados

Em todas as universidades o experimento foi realizado em três dias consecutivos. Em cada dia foi aplicada uma condição térmica mediante fixação da temperatura dos aparelhos de ar-condicionado. Logo, simularam-se três situações: desconforto por frio, conforto, e desconforto por calor (Quadro 6).

O ajuste da temperatura para cada situação foi baseado na norma ISO 7730/2005. Essa norma indica que uma temperatura entre 22° e 24°C pode propiciar o conforto térmico, enquanto que valores abaixo desse intervalo tendem a propiciar o desconforto por frio; e acima, desconforto por calor. Diante disso desse contexto e visando simular as três situações mencionadas anteriormente, manipulou-se a temperatura do ar para 20° C; 24° C; e 30°C.

Quadro 6: Situações simuladas

DIA	TEMPERATURA (°C)	SITUAÇÃO
1	20°	Desconforto por frio
2	24°	Conforto
3	30°	Desconforto por calor

Fonte: Elaboração própria (2017)

No primeiro dia realizava-se uma explanação acerca dos objetivos da pesquisa, metodologia utilizada, e quais os procedimentos a serem feitos durante o período de coleta de dados. Posteriormente, explicava-se especificamente acerca dos questionários sobre sensação, conforto e desejo térmico. Sanadas todas as dúvidas, era quantificado o número de estudantes que aceitavam participar e, então, iniciava-se a coleta de dados propriamente dita.

Nos três dias os estudantes de todos os locais analisados chegaram 30 minutos antes do início da coleta para que estabilizassem a temperatura corporal e se aclimassem com as condições térmicas propostas. Além disso, em cada dia eles utilizaram os computadores para acessar os questionários subjetivos através da ferramenta on-line para *Survey* “QUALTRICS”. Tal procedimento era necessário em função da necessidade de compreender a percepção térmica dos alunos para cada situação proposta.

3.4.1 Variáveis pessoais

Dos alunos que aceitaram participar da pesquisa recolheram-se inicialmente as informações sobre altura e peso. Com relação à altura, utilizou-se o procedimento convencional: fita métrica. Para medir o peso, era necessário que os pesquisados estivessem utilizando apenas a roupa do corpo, ou seja, qualquer outro tipo de objeto foi retirado no momento da aferição. Diante disso, mediu-se o peso utilizando uma balança digital que possuía capacidade de 150 kg.

Os dados foram anotados em uma planilha, posteriormente tabulados digitalmente, utilizando o Microsoft Excel para calcular o Índice de Massa Corporal (IMC) de cada participante de acordo com a Equação 15. Aqueles que apresentavam $IMC > 30$, que indica obesidade, foram retirados da pesquisa.

$$IMC = \frac{\text{peso (kg)}}{\text{altura}^2 \text{ (m)}} \quad (15)$$

Identificou-se também a vestimenta utilizada. Essa identificação permitiu que fosse calculada a resistência térmica da vestimenta (ICL) de cada estudante em cada dia de análise. Por fim, em função de ser uma atividade sem grande esforço físico adotou-se o valor de $69,8\text{W/m}^2$ ou 1,2 Met para o metabolismo.

3.4.2 Variáveis ambientais

Em um determinado ambiente quando se define uma temperatura do ar através do aparelho de ar-condicionado, muito provavelmente as condições térmicas reais apresentarão discordâncias com o que foi proposto. Por exemplo, quando se estipula 24°C no controle do aparelho, a temperatura do ambiente pode ser um pouco superior ou inferior a isso. Tal situação acontece em função de infiltração do ar através de frestas ou ocasionais aberturas de portas, oscilações de voltagem, bem como da perda de eficiência do sistema de ar condicionado por manutenção deficiente.

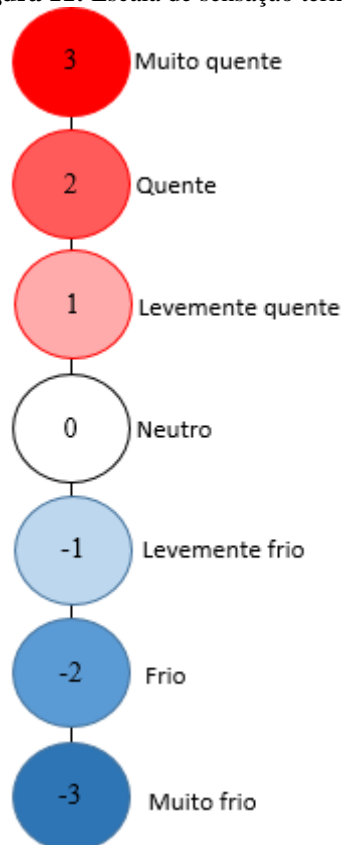
Diante da situação apresentada e visando posteriormente calcular os índices PMV e PPD coletaram-se os dados referentes às variáveis ambientais. Para isso, utilizou-se o medidor de estresse térmico TGD 300 e a estação microclimática BABUC A. Tais aparelhos estavam devidamente calibrados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Rio Grande do Norte (RN) e atendiam às exigências da Norma ISO 7726 (1998).

Ainda baseado nessa norma, os equipamentos foram instalados 30 minutos antes do início da coleta no centro do ambiente, para que se estabilizassem, e posicionados na altura do tronco dos participantes que estavam utilizando os computadores. Os referidos instrumentos foram programados para registrar os dados das variáveis de minuto a minuto.

Os parâmetros subjetivos (conforto, sensação e desejo térmico) foram aferidos durante os três dias de coleta para entender a percepção dos estudantes com relação às condições a que foram submetidos. Para isso, aplicaram-se questionários de avaliação e percepção térmica (Anexo 1) baseados nas escalas de sete pontos de percepção e preferência da norma ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2013).

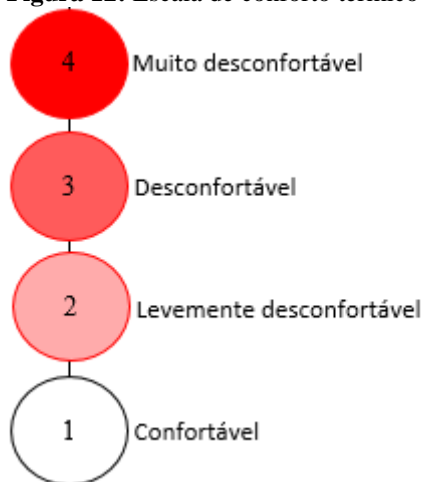
A Figura 11 indica a escala usada na avaliação da sensação térmica; a Figura 12 a escala utilizada na avaliação do conforto térmico; e por fim, a Figura 13 mostra a escala utilizada na aferição do desejo térmico.

Figura 11: Escala de sensação térmica



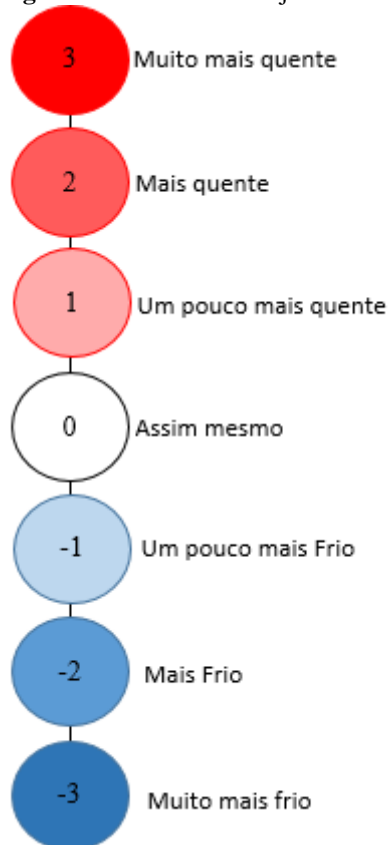
Fonte: Elaboração própria (2017)

Figura 12: Escala de conforto térmico



Fonte: Elaboração própria (2017)

Figura 13: Escala de desejo térmico



Fonte: Elaboração própria (2017)

3.5 Tratamento e análise de dados

Os dados ambientais e subjetivos foram tabulados através do programa Microsoft Excel® de acordo com o respectivo dia e localidade. Nesse software organizaram-se as variáveis, categorizaram-se outras, e calcularam-se os índices normativos PMV e PPD a partir das equações mencionadas anteriormente.

Posteriormente, desenvolveram-se gráficos para análise comportamental dos dados obtidos.

Na sequência, utilizando o software estatístico R-Project 3.3.1 foram realizadas análises estatísticas para uma compreensão quantitativa e um entendimento mais preciso do comportamento dos dados. Ainda nesse software, analisou-se a relação existente entre sensação térmica e o índice normativo PMV através da correlação. Essa análise permitiu inferir se esse índice compreendia de forma precisa a sensação térmica dos ocupantes.

Para analisar a relação entre as variáveis ambientais e subjetivas utilizaram-se modelos lineares generalizados. Primeiramente, investigou o conforto térmico em função da temperatura do ar, onde o conforto foi classificado como variável dicotômica (Confortável e Desconfortável) e desenvolveu-se um modelo com uma distribuição binomial. A sensação térmica e o desejo térmico também foram analisados em função temperatura do ar, para isso foram desenvolvidos modelos com distribuição multinomial.

Por fim, para estimar as zonas de conforto para cada ambiente foi utilizado o teste de Wilcox. Nesse teste, as temperaturas que os indivíduos entenderam como confortáveis foram analisadas separadamente e a partir delas estimaram-se as zonas de conforto para cada ambiente.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram analisados de forma comparativa para uma melhor visualização e entendimento. Tais resultados foram subdivididos em: temperaturas médias obtidas; análise inicial da sensação e conforto térmico; análise dos índices normativos PMV e PPD; comparação entre a sensação térmica e o índice PMV; compreensão do conforto e sensação térmica em termos quantitativos; e estimação de zonas de conforto.

4.1 Temperaturas médias obtidas

Entre as etapas metodológicas estava a manipulação da temperatura do ar, e para garantir que as condições propostas fossem atendidas analisou-se a temperatura média em cada dia. As temperaturas obtidas nesse experimento constam na tabela 4, na qual alguns pontos chamam a atenção. Destaca-se nos ambientes B e E a diferença entre a menor temperatura média e a temperatura intermediária média foi pequena. Outro ponto que chamou atenção foi o dia de maior temperatura nos ambientes C (33,72 °) e D (30,86°), que apresentaram os maiores valores entre todos os ambientes.

Assume-se que as variações existentes estavam dentro do esperado e não comprometeram a metodologia do experimento. Tais variações foram decorrentes das condições de cada ambiente, seja estrutural, das características ou desempenho do sistema de refrigeração, ou até das condições ambientais externas. Logo, infere-se que esses fatores faziam parte da rotina das pessoas (alunos) que compunham a amostra e eram elementos importantes na análise do conforto térmico.

Tabela 4: Temperaturas média obtidas

Ambiente	Cidade	Menor temperatura média (°C)	Temperatura intermediária média (°C)	Maior temperatura média (°C)
A	João Pessoa	20,31°	23,40°	27,82°
B	Petrolina	22,43°	23,04°	28,52°
C	Teresina	20,07°	22,95°	33,72°
D	Manaus	23,58°	25,93°	30,86°
E	São Carlos	23,09°	23,30°	28,80°
F	Florianópolis	22,72°	24°	28,48

Fonte: Elaboração própria (2017)

4.2 Análise da percepção térmica

A abordagem da percepção térmica dos ocupantes foi subdividida na análise da sensação e do conforto térmico. A tabela 5 indica a sensação térmica que predominou em cada ambiente para cada temperatura proposta. Observa-se que os três ambientes (A, B e C) localizados na região nordeste apresentaram resultados semelhantes. Por exemplo, para a menor temperatura predominou a sensação de que o ambiente estava levemente frio; para a temperatura intermediária predominou a sensação de neutralidade; e para a maior temperatura nos ambientes A e B predominou a sensação de levemente quente, enquanto que no ambiente C predominou a sensação de que o ambiente estava quente. Essa pequena discordância pode ter ocorrido por consequência de que nesse dia o ambiente C apresentou uma temperatura mais alta que os outros dois ambientes. Por outro lado, os ambientes D, E e F também apresentaram resultados idênticos. Para os dias de menor temperatura e temperatura intermediária prevaleceu nesses grupos a sensação de neutralidade térmica; já para o dia de maior temperatura, os ocupantes do ambiente D e F sentiram o ambiente muito quente, enquanto os do ambiente E sentiram o ambiente quente.

Ainda na análise da tabela 5 observa-se que a percepção dos estudantes dos ambientes da região nordeste foi um pouco diferente da percepção dos estudantes dos ambientes das outras regiões. Essa pequena diferença ocorreu nos dias de menor temperatura, quando os estudantes da região nordeste consideraram o ambiente um pouco frio, enquanto nos outros ambientes os estudantes estavam em neutralidade térmica. Outra consideração importante diz respeito ao dia de maior temperatura, quando os estudantes das regiões Norte, Sul e Sudeste sentiram o ambiente mais quente que os estudantes da região nordeste.

Tabela 5: Sensação térmica predominante

Ambiente	Cidade	Região	Menor temperatura	Temperatura intermediária	Maior temperatura
A	João Pessoa	Nordeste	Levemente frio (48%)	Neutro (68%)	Levemente quente (38,5%)
B	Petrolina	Nordeste	Levemente frio (41%)	Neutro (67%)	Levemente quente (44%)
C	Teresina	Nordeste	Levemente frio (50%)	Neutro (70%)	Quente (62%)
D	Manaus	Norte	Neutro (64%)	Neutro (43%)	Muito quente (58%)

E	São Carlos	Sudeste	Neutro (56,25%)	Neutro (47,06%)	Quente (80%)
F	Florianópolis	Sul	Neutro (58,82%)	Neutro (52,63%)	Muito quente (53,33%)

Fonte: Elaboração própria (2017)

A tabela 6 por sua vez traz os dados referentes à percepção de conforto dos estudantes para cada temperatura proposta. Para a menor temperatura nos ambientes A, B, C, D e E a maioria dos estudantes indicou estar confortável com aquelas condições (Respectivamente 51,85%; 52,94%; 61,54%; 64,29% e 60%), enquanto que para o ambiente F localizado na cidade de Florianópolis a maioria dos estudantes indicou que o ambiente estava desconfortável (58,82%). Essa percepção já era esperada, pois esse ambiente está localizado na região sul do Brasil, local onde os habitantes estão aclimatados com temperaturas consideravelmente mais baixas. Logo, como a temperatura média obtida nesse dia foi de aproximadamente 23°C e, se levar em consideração outros fatores vinculados ao projeto do edifício e condições externas, todos esses fatores contribuíram para a percepção de desconforto térmico.

Para o dia da temperatura intermediária, observou-se que nos três ambientes da região nordeste (A, B e C) a maioria dos estudantes estava confortável com as condições existentes (53,85%; 66,67% e 92,59% respectivamente). Entretanto, os estudantes dos demais ambientes indicaram estar desconfortável com as condições propostas. Por fim, para o dia de maior temperatura prevaleceu em todos os ambientes a percepção de desconforto.

Tabela 6: Percepção de conforto

Ambiente	Menor temperatura		Temperatura intermediária		Maior temperatura	
	Confortável	Desconfortável	Confortável	Desconfortável	Confortável	Desconfortável
A	51,85%	48,15%	53,85%	46,15%	23,08%	76,92%
B	52,94%	47,06%	66,67%	33,33%	11,76%	88,24%
C	61,54%	38,46%	92,59%	7,41%	0%	100%
D	64,29%	35,71%	42,86%	57,14%	3,85%	96,15%
E	60%	40%	47%	53%	13%	87%
F	41,18%	58,82%	38,84%	63,16%	13,33%	88,67%

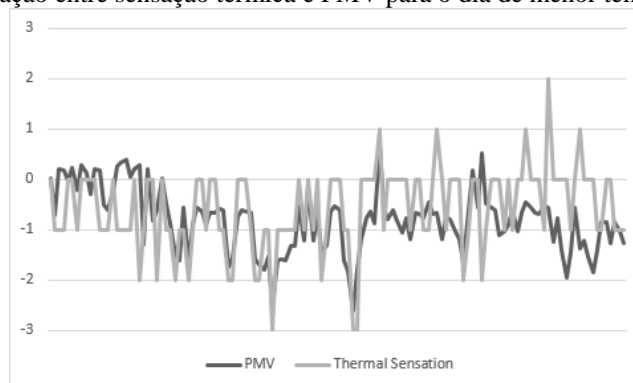
Fonte: Elaboração própria (2017)

4.3 Comparação entre sensação térmica e o índice PMV

A comparação entre a sensação térmica e o índice PMV foi analisada primeiramente para toda a amostra. Ou seja, analisou-se as sensações térmicas e índices PMV obtidos para cada ocupante em um único gráfico visando identificar o comportamento dessas variáveis.

Na figura 14 observam-se os dados obtidos para o dia de menor temperatura, onde PMV e Sensação Térmica (Thermal Sensation) predominaram para um intervalo entre (-3,0), ou seja, a variação dessas duas variáveis aconteceu para um intervalo que variou entre -3 e 0. Esses resultados mostram o índice PMV indicando, inicialmente, condições de conforto e depois variando entre conforto, levemente frio e frio. Quanto à sensação térmica, seguiu a mesma tendência, mas apresentando discordâncias que tenderam a aumentar na segunda metade do gráfico, sendo maiores na parte final. É possível que tais variações ocorreram em função das individualidades, ansiedade pelo término do teste e da adaptabilidade de cada grupo.

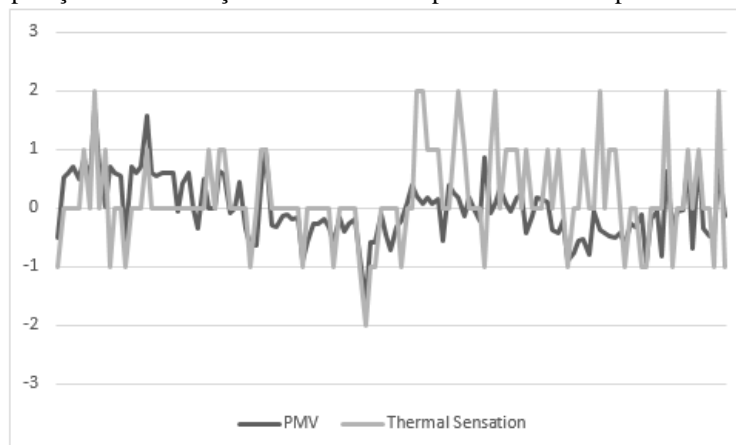
Figura 14: Comparação entre sensação térmica e PMV para o dia de menor temperatura do ar (20°C)



Fonte: Elaboração própria (2017)

Para o teste com temperatura intermediária a figura 15 mostra que existiram maiores variações, porém uma translação para cima das duas curvas, o que é coerente. A norma ISO 7730/2005 considera um ambiente confortável termicamente quando o PMV está no intervalo $-0,5 \leq \text{PMV} \leq 0,5$. Como a variação obtida ($-1 \leq \text{PMV} \leq 1$) para esse teste esteve próxima desse intervalo considera-se que para essas condições o índice normativo indicou o ambiente oferecendo condições de conforto térmico ou próximas das mesmas. Comparando com sensação térmica, observa-se a existência de uma variação maior que no caso anterior, porém mantendo a mesma tendência. Isto é, o índice se aproximou da sensação térmica dos ocupantes.

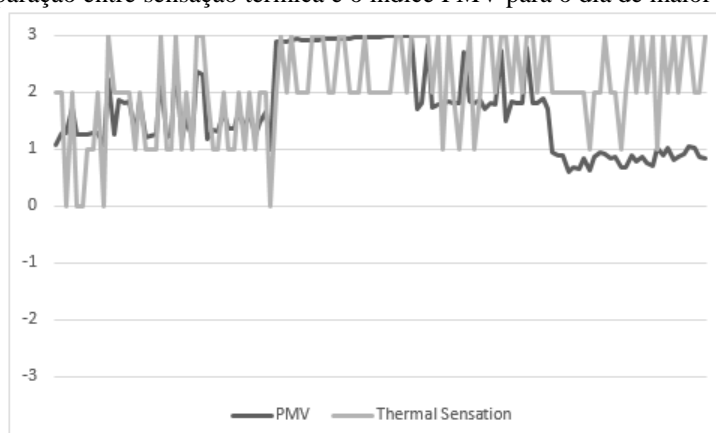
Figura 15: Comparação entre sensação térmica e PMV para o dia de temperatura intermediária (24°C)



Fonte: Elaboração própria (2017)

Para o teste com maior temperatura o índice normativo ($1 \leq \text{PMV} \leq 3$) e a sensação térmica ($1 \leq \text{Thermal Sensation} \leq 3$) indicaram o ambiente como sendo quente. Nesse teste também existiram discordâncias entre essas duas variáveis de modo semelhante às anteriores. Ou seja, variações menores até a primeira metade e maiores na segunda. Convém informar que a norma ISO 7730/2005 recomenda a aplicação do índice PMV para o intervalo (-2, +2).

Figura 16: Comparação entre sensação térmica e o índice PMV para o dia de maior temperatura (30°C)



Fonte: Elaboração própria (2017)

Diante das discordâncias encontradas na análise da amostra completa, desenvolveu-se a Tabela 7 para mostrar as correlações obtidas entre o índice normativo (PMV) e a sensação térmica de acordo com o respectivo ambiente e a temperatura proposta. Para o ambiente A, observa-se que existiram correlações significativas para a temperatura intermediária e maior temperatura, ou seja, para as temperaturas propostas o índice normativo se aproximou bem da sensação térmica dos estudantes. A mesma análise é válida para o ambiente C, no dia da menor temperatura proposta e, também,

para temperatura intermediária. Para o ambiente B verifica-se a aproximação para as três temperaturas propostas.

Para os ambientes D e E não houve semelhança entre o índice normativo e a sensação térmica declarada pelos estudantes para nenhuma temperatura proposta. Por fim, para o ambiente F o índice normativo se aproximou da sensação térmica dos estudantes apenas no teste proposto para a temperatura intermediária (24°C). Nos outros dois testes a sensação térmica dos ocupantes foi superior àquela indicada pelo PMV.

Tabela 7: Correlações entre a sensação térmica e o índice normativa

Cidade	Ambiente	Região	Menor temperatura	Temperatura intermediária	Maior temperatura
João Pessoa	A	Nordeste	0,17	0,70	0,76
Petrolina	B	Nordeste	0,80	0,73	0,88
Teresina	C	Nordeste	0,85	0,79	0,01
Manaus	D	Norte	0,09	0,4	0,14
São Carlos	E	Sudeste	0,17	0,34	0,48
Florianópolis	F	Sul	0,19	0,74	0,2

Fonte: Elaboração própria (2017)

4.4 Análise do índice PPD

A ISO 7730/2005 indica que para um ambiente ser considerado termicamente confortável é necessário que o índice PPD seja inferior ou igual a 10% ($PPD \leq 10\%$). Entretanto, alguns autores baseados nessa norma assumem esse limite para 15%, ou seja, ($PPD \leq 15\%$).

A tabela 8 indica os valores PPD obtidos, na qual observa-se que apenas os dias com a menor temperatura no ambiente A (9,52%); e os dias com temperatura intermediária nos ambientes B (10,32%), C (11,55%), D (6,6%), E (11%), e F (11,79%) apresentaram valores menores que os mencionados anteriormente. Logo, teoricamente esses dias podem ser considerados termicamente moderados segundo a norma.

Para conclusão dessa análise alguns resultados merecem ser pontuados. O primeiro resultado que chama atenção é o $PPD \leq 10\%$ para o ambiente A no dia em que foi estipulada a menor temperatura (Temperatura média do ar = 20,31°C). Outro resultado que merece um destaque é para o dia em que foi proposto temperatura intermediária (Temperatura média do ar = 25,93°C) no ambiente D, em que foi obtido

um PPD = 6,6%. Por fim, observa-se os baixos PPD para os ambientes E e F no dia em que foi proposto a temperatura mais alta, respectivamente, 28,80°C e 28,48°C.

Tabela 8: Valores PPD obtidos

Cidade	Ambiente	Menor temperatura	Temperatura intermediária	Maior temperatura
João Pessoa	A	9,52%	18,57%	37,08%
Petrolina	B	22%	10,32%	41,48%
Teresina	C	56,98%	11,55%	98,86%
Manaus	D	18%	6,6%	96,15%
São Carlos	E	16%	11%	18,46%
Florianópolis	F	38,06%	11,79%	21,2%

Fonte: Elaboração própria (2017)

4.5 Modelagem matemática

A análise comparativa a partir de modelos lineares generalizados consistiu em três aspectos: (1) Influência da temperatura do ar (variável independente) na percepção de conforto (dicotômica, dependente); (2) Influência da temperatura do ar (variável independente) na sensação térmica (multinomial – frio, neutralidade, calor – dependente); e (3) Influência da temperatura do ar (variável independente) no desejo térmico (multinomial – frio, neutralidade, calor -, dependente).

Os modelos aqui apresentados foram aprovados em uma série de diagnósticos, como análises das funções de ligação e variância; verificação da distribuição da variável resposta e análise de resíduos. Esses diagnósticos permitiram que fossem obtidos modelos com um bom poder explicativo.

4.5.1 Influência da temperatura do ar na percepção de conforto

Inicialmente e conforme mostra a tabela 9 observa-se que todos os modelos foram consistentes para o teste Z e para o teste da razão de verossimilhança (valor-p < 0,05). Em decorrência, tornou-se possível extrair informações acerca desses modelos. Logo, assume-se que essa análise focou na razão da chance, ou seja, na chance de o estudante sentir desconforto mediante o aumento de 1°C na temperatura do ar.

O ambiente F localizado na cidade de Florianópolis apresentou a menor razão da chance (0.5222), fazendo com que a chance de sentir desconforto fosse de 47,78% mediante o aumento da temperatura do ar em 1°C. Observou-se que o ambiente D da

cidade de Manaus apresentou o segundo menor valor da razão da chance, o que resultou em uma chance de sentir desconforto de 39,53%. Já o ambiente B apresentou uma razão da chance de 0.6804, o que resultou na chance de desconforto de 31,96%; o ambiente E localizado na cidade de São Carlos indicou um percentual de 30,47%. Por fim, com as menores chances de sentir desconforto aparecem os ambientes C e A localizados na cidade de Teresina (27,85%) e João Pessoa (18,20%), respectivamente.

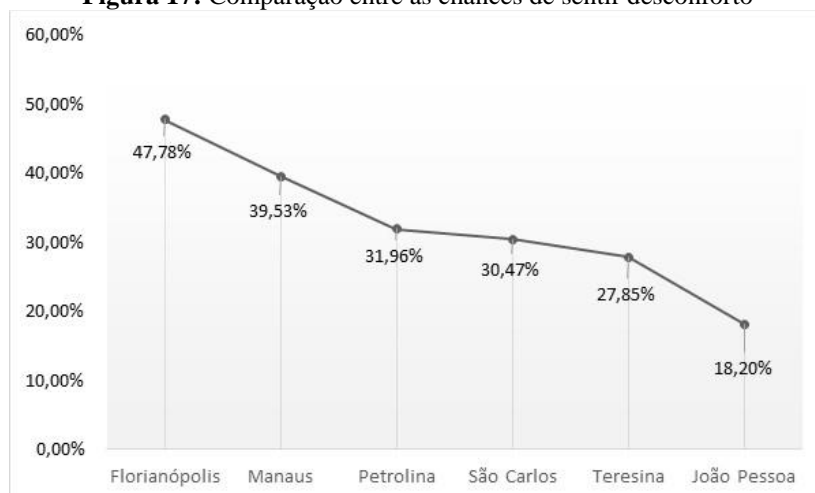
Tabela 9: Dados dos modelos de regressão para o conforto térmico

Ambiente	Cidade	Teste Z (valor-p)	PseudoR2	Razão da chance	Chance de sentir desconforto
A	João Pessoa	0.000197	0.478	0.8179	18,20%
B	Petrolina	0.00606	0.251	0.6804	31,96%
C	Teresina	4.65e-06	0.549	0.7215	27,85%
D	Manaus	0.000107	0.365	0.6047	39,53%
E	São Carlos	0.0164	0.208	0.6953	30,47%
F	Florianópolis	0.0363	0.252	0.5222	47,78%

Fonte: Elaboração própria (2017)

A figura 17 apresenta em ordem decrescente as chances mencionadas na tabela 9. Destaca-se que existiram diferenças entre os resultados obtidos para o ambiente F localizado na cidade de Florianópolis, e os ambientes localizados na região nordeste. Por exemplo, o ambiente A localizado na cidade de João Pessoa apresentou uma chance muito baixa de desconforto em comparação com o ambiente F; o ambiente E localizado na região sudeste do Brasil apresentou porcentagens próximas aos dos ambientes localizados na cidade de Petrolina e Teresina, ambos na região nordeste.

Figura 17: Comparação entre as chances de sentir desconforto



Fonte: Elaboração própria (2017)

4.5.2 Influência da temperatura do ar na sensação térmica

Observa-se que os maiores PseudoR2 obtidos foram para os ambientes C (0.850), F (0.709), e D (0.627), com valores p-valores < 0,05. Nesses ambientes, a medida que a temperatura do ar aumenta 1°C a chance de o indivíduo sentir o ambiente mais quente aumenta em 133,61%, 252,92%, e 199,21%, respectivamente (Tabela 10).

Para o ambiente A, localizado na cidade de João Pessoa, a chance de o indivíduo sentir o ambiente mais quente aumenta em 82,10%; enquanto que para o ambiente B da cidade Petrolina aumenta em 66,01% e 87,08% para o ambiente E.

Tabela 10: Dados dos modelos de regressão para a sensação térmica

Ambiente	Cidade	Teste Z (Valor-p)	PseudoR2	Razão da chance	A chance de sentir o ambiente quente aumenta em:
A	João Pessoa	0.0001	0.452	1.8210	82,10%
B	Petrolina	0.0003	0.385	1.6601	66,01%
C	Teresina	0.0001	0.850	2.3361	133,61%
D	Manaus	0.0001	0.627	2.9921	199,21%
E	São Carlos	0.0001	0.458	1.8708	87,08%
F	Florianópolis	0.0001	0.709	3.5229	252,95%

Fonte: Elaboração própria (2017)

4.5.3 Influência da temperatura do ar no desejo térmico

A Tabela 11 mostra o resultado desta análise, discutido a seguir. Para a amostra do ambiente F da cidade de Florianópolis a razão da chance foi de 0.3778, ou seja, à medida que a temperatura do ar aumenta em 1°C, a chance de os indivíduos desejarem o ambiente mais frio aumenta em 37,78%. Para os estudantes do ambiente B, a chance de querer o ambiente mais frio aumenta em 43,14% (Razão da chance = 0.4314); enquanto que para os estudantes do ambiente A esse percentual foi de 49,52% (Razão da chance = 0.4952).

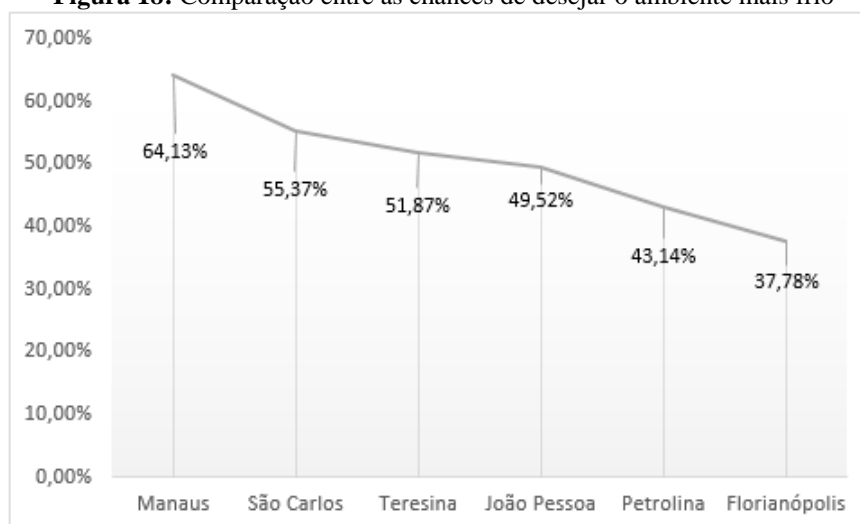
A amostra do ambiente C apresentou uma razão da chance de 0.5187, o que indicou uma chance de 51,87% de desejarem o ambiente mais frio; enquanto que a amostra do ambiente E apresentou uma chance de 55,37%. Por fim, assume-se que a maior chance foi para a amostra do ambiente D, cerca 64,13%.

Tabela 11: Dados dos modelos de regressão para o desejo térmico

Ambiente	Cidade	Teste Z (valor-p)	PseudoR2	Razão da chance	Chance de querer o ambiente mais frio aumenta em:
A	João Pessoa	0.0001	0.491	0.4952	49,52%
B	Petrolina	0.0029	0.495	0.4314	43,14%
C	Teresina	0.0001	0.763	0.5189	51,87%
D	Manaus	0.0001	0.300	0.6413	64,13%
E	São Carlos	0.0002	0.421	0.5537	55,37%
F	Florianópolis	0.0001	0.606	0.3778	37,78%

Fonte: Elaboração própria (2017)

A figura 18 permite uma melhor visualização das chances encontradas para cada ambiente. A maior chance de querer o ambiente mais frio foi obtida na cidade de Manaus. Os ambientes E, C e A apresentaram resultados próximos, ou seja, tiveram pouca variação. Por fim, foi o ambiente F que apresentou a menor chance (37,78%).

Figura 18: Comparação entre as chances de desejar o ambiente mais frio

Fonte: Elaboração própria (2017)

3.6 Estimação de zona de conforto

De acordo com as temperaturas propostas foram obtidas percepções de conforto e desconforto. Essas percepções permitiram que fosse possível identificar um intervalo de conforto mediante as respostas obtidas. Para isso, utilizou-se o teste de hipótese de Wilcoxon e obtiveram-se os intervalos de conforto.

A tabela 12 mostra que para o ambiente A, João Pessoa (PB), o intervalo de temperatura do ar foi 23,07° C a 23,38°C; para o ambiente B, Petrolina (PE), foi de 22,73° C a 23,04°C; para o ambiente C, Teresina (PI), 21,50°C a 22,93; para o ambiente D, Manaus (AM), foi de 22,66°C a 24,82°C; para o ambiente E, na cidade São Carlos, o intervalo foi de 23,12°C a 23,31°C; e por último, para o ambiente F, em Florianópolis a variação foi entre 23,25°C a 25,50°C.

Tabela 12: Intervalos de conforto obtidos

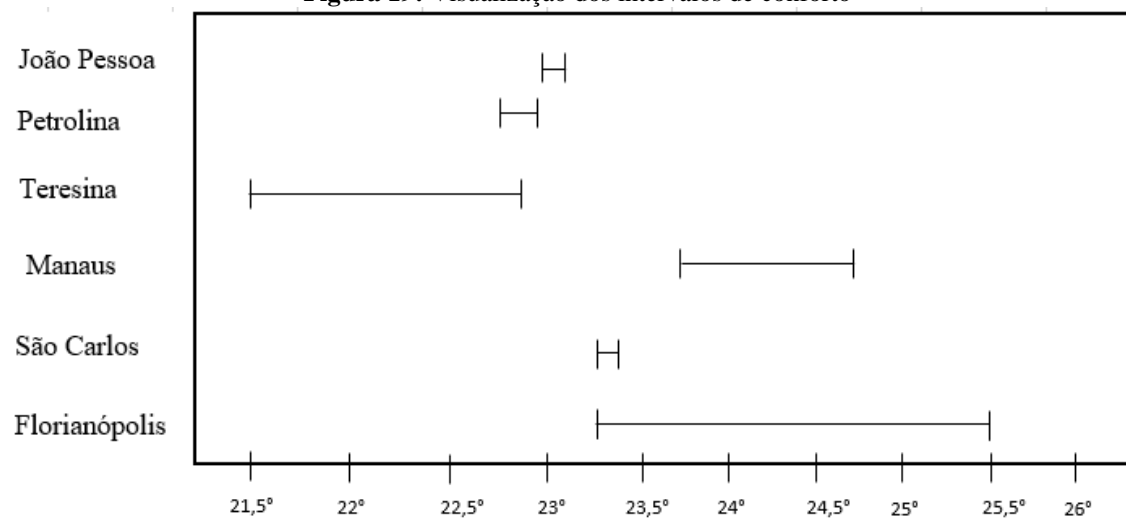
Ambiente	Cidade	Região	Intervalo de conforto
A	João Pessoa	Nordeste	(23.07 - 23.28)
B	Petrolina	Nordeste	(22.73 - 23.04)
C	Teresina	Nordeste	(21.50 - 22.93)
D	Manaus	Norte	(23.66 - 24.82)
E	São Carlos	Sudeste	(23.13 - 23.31)
F	Florianópolis	Sul	(23.25 - 25.50)

Fonte: Elaboração própria (2017)

Para um melhor entendimento da zona de conforto, analisaram-se os intervalos em uma única figura (Figura 19). Observa-se que para o ambiente da cidade de João Pessoa a variação foi pequena, e em torno de 23°C; a mesma análise pode-se ser direcionada para a amostra da cidade de Petrolina, na qual a variação também foi pequena e em torno de 23°C; ainda nesse contexto, a variação obtida para o ambiente da cidade de São Carlos também foi pouca ($23,12 < T_a < 23,31$). Por outro lado, observou-se que existiu uma variação no intervalo obtido para a cidade de Teresina ($21,50 < T_a < 22,93$); para cidade de Manaus também existiu uma variação; e por fim, para a cidade de Florianópolis foi obtida a maior variação do intervalo de conforto ($23,25 < T_a < 25,50$).

Conclui-se ainda que os intervalos de conforto obtidos para João Pessoa, Petrolina e Teresina foram menores do que os obtidos para a cidade de Manaus, São Carlos e Florianópolis. Logo, esses resultados podem indicar que para um período curto de tempo os estudantes da região nordeste tendem a estar em conforto para um intervalo de temperatura menor do que os das outras instituições analisadas nesse experimento. Concluindo essa análise, destaca-se a amostra da cidade de Florianópolis, onde o intervalo de conforto abrangeu temperaturas um pouco mais altas, como 25° e 25,5 °C.

Figura 19: Visualização dos intervalos de conforto



Fonte: Elaboração própria (2017)

5. DISCUSSÃO

Mediante as temperaturas aplicadas, observou-se a diferença de percepção térmica entre os estudantes, o que reflete a subjetividade da percepção térmica em um ambiente. Essa subjetividade é destacada por Teli (2014), que afirma que as fortes diferenças interpessoais decorrem das respectivas atividades realizadas pelo corpo de cada estudante. Essas atividades são preponderantes na determinação da percepção de conforto térmico. Outra condição importante consiste na adaptação às condições térmicas, que, segundo Orosa e Oliveira (2011) as diferenças climáticas a que um indivíduo está submetido afetam a percepção de conforto.

Embora essa diferença tenha sido verificada, notou-se que entre os estudantes dos ambientes A, B e C da região nordeste não existiu diferenças significativas na distribuição de frequência da percepção. Essa similaridade da percepção térmica pode ter ocorrido devido ao fato de esses ambientes estarem localizados em cidades cujas temperaturas são semelhantes e com baixas oscilações diárias, cujos habitantes tendem a se adaptarem a condições climáticas similares. Comparando tal resultado com os obtidos nos ambientes (D, E e F) das outras regiões, infere-se que existiram diferenças de percepção térmica no que diz respeito a temperaturas mais baixas e a temperatura intermediária. Entretanto, assim como para os ambientes da região nordeste, a adaptabilidade dos indivíduos desses outros ambientes teve papel preponderante nas respostas de percepção térmica. Yang (2015) ressalta a importância dessa adaptação na determinação das percepções térmicas individuais e, consequentemente, dos grupos de indivíduos.

Yang (2015) declarou que o PMV pode superestimar a sensação térmica dos indivíduos em um ambiente termicamente controlado. Tal afirmativa, pode indicar que em determinadas situações podem existir leves discordâncias entre esse índice e a sensação dos ocupantes. Nesse sentido, observou-se nesse estudo a presença de leves discordâncias entre essas duas variáveis. Essas discordâncias aconteceram em função dos estudantes sentirem o ambiente mais quente do que o que foi estipulado normativamente. Corroborando os resultados obtidos nesse estudo, Mors (2011) indica que os limites normativos subestimam a sensação térmica e preveem temperaturas mais confortáveis do que as realmente indicadas pelos ocupantes. Como uma possível justificativa, Hassan (2016) explica que uma pessoa com alta taxa metabólica não estando em repouso pode sentir desconforto em qualquer momento da sua atividade

independentemente das condições térmicas existentes. Logo, uma medição mais precisa da taxa metabólica dos ocupantes pode permitir que as possíveis discordâncias entre o índice normativo e a sensação térmica possam ser minimizadas.

Com relação aos resultados quantitativos eles indicaram que a chance de sentir desconforto mediante o aumento da temperatura do ar apresentou diferenças entre os ambientes. O ambiente localizado na região sul apresentou uma chance de sentir desconforto maior do que os ambientes localizados na região nordeste. A adaptabilidade é um fator importante nessa análise, como também as características dos edifícios, que, segundo Teli (2012), têm um forte impacto na percepção térmica dos ocupantes dos edifícios, mesmo quando não afetam diretamente as condições térmicas.

Na análise quantitativa de os indivíduos desejarem o ambiente mais frio mediante o aumento da temperatura do ar, infere-se que a adaptabilidade teve um papel tão incisivo como nas outras análises. Assume-se isso pois os ambientes localizados na região nordeste apresentaram a chance de querer o ambiente mais frio próximas, ou seja, não houve diferenças significativas quanto ao desejo térmico. Outro resultado que chamou atenção foi que a chance obtida para o ambiente D localizado em Manaus, na região norte, foi muito superior à chance obtida para o ambiente F, na região sul. Dessa forma, mesmo sendo uma análise realizada em um curto período de tempo, a adaptabilidade dos estudantes com suas respectivas regiões ficou evidenciada nesses resultados. Ao aumentar a temperatura do ar espera-se que os estudantes desejem o ambiente mais frio, entretanto, muito provavelmente existam diferenças nos resultados obtidos quando se trata de estudantes aclimatados com condições climáticas diferentes. Sendo assim, deve-se sempre levar em consideração as condições climáticas de onde os ambientes estão localizados.

Por fim, com relação à estimação de zonas de conforto baseados na percepção térmica, assume-se a existência de intervalos e leves diferenças nos resultados obtidos para cada ambiente. Assume-se também que as maiores variações foram obtidas para os ambientes C,D e F, no entorno de 2°C. A existência dessas variações são perfeitamente aceitáveis em função da percepção térmica ser algo peculiar a cada indivíduo, e que em um determinado grupo dificilmente os ocupantes terão percepções iguais. Entretanto, esse resultado é muito importante, pois a estimação dessas zonas de conforto permite que os professores desses ambientes possam estimar condições internas propícias ao conforto térmico.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou o conforto ambiental dos estudantes em seis ambientes de ensino com VDT localizados em diferentes regiões do Brasil, mediante a fixação da temperatura do ar em 20, 24 e 30°C. Para as amostras analisadas observou-se que a adaptabilidade e as distinções individuais repercutiram nas diferenças de distribuição das percepções dos referidos grupos. Essas diferenças representam uma variação aleatória natural entre os grupos. Entretanto, também existiram similaridades nas sensações térmicas das amostras, principalmente para os ambientes localizados na região nordeste, que pode ser justificado pela aclimação dos estudantes com as condições térmicas dessa região.

Foi possível observar que a sensação térmica e o índice PMV apresentaram leves discordâncias. Ou seja, em determinados momentos a variação do índice normativo não conseguiu prever perfeitamente a sensação térmica dos estudantes. Em decorrência desse resultado, infere-se que em algumas situações o índice PMV subestimou a sensação térmica dos estudantes, haja vista que eles sentiram o ambiente mais quente do que o indicado normativamente. Com relação ao índice normativo PPD observou-se que em todos os ambientes para as temperaturas propostas de 20°C e 30°C o percentual de pessoas insatisfeitas foi muito superior ao que estava estipulado normativamente. Logo, para esses dias os ambientes poderiam ser considerados como desconfortáveis. Entretanto, quando foi proposta a temperatura 24°C o percentual esteve inferior ao estipulado normativamente. Logo, assume-se, para essas condições, que o ambiente estava termicamente confortável.

Com relação aos resultados obtidos a partir dos modelos lineares generalizados observa-se que a chance de sentir desconforto mediante aumento de 1° C na temperatura do ar foi diferente entre os ambientes das diferentes regiões. Nesse contexto, infere-se que as amostras localizadas nos ambientes da região sul e sudeste tiveram maior chance de desconforto do que as amostras da região norte e nordeste.

Com relação ao desejo térmico infere-se que a adaptabilidade também teve papel importante nos resultados obtidos nos modelos lineares generalizados. Tal afirmativa é justificada em virtude de as amostras localizadas na região nordeste terem apresentados razão da chance próximas. Outra importante análise desse resultado consistiu nas

diferenças encontradas entre os resultados obtidos no ambiente F da região sul e nos ambientes da região norte (D) e nordeste (A, B e C) do Brasil.

Nesse contexto, ficou evidenciado que a adaptabilidade dos estudantes com suas respectivas regiões influenciou nos resultados obtidos nesse trabalho. Portanto, assume-se que não houve diferenças significativas nos resultados obtidos entre as amostras localizadas na região nordeste. Assume-se também que os resultados obtidos para a amostra localizada na região norte apresentaram uma compatibilidade com os que foram obtidos nos ambientes da região nordeste. Por outro lado, ficaram explícitas as leves diferenças perceptivas existentes entre os estudantes dos ambientes localizados na região sudeste e sul, em comparação com os ambientes da região norte e nordeste do Brasil.

Sendo assim, diante do que foi exposto observa-se que é muito importante avaliar termicamente os ambientes de ensino, pois os alunos podem estar sendo submetidos a condições térmicas inaceitáveis que podem influenciar negativamente no seu bem-estar e desempenho. Outro ponto importante é compreender a percepção dos ocupantes, pois podem fornecer informações relevantes e de forma mais precisa acerca das condições térmicas existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE 55. Thermal environmental conditions for human occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.** Atlanta, GA, USA, 2013.

ALMEIDA, R. M. S. F; DE FREITAS, V. P. Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. **Energy and Buildings**, v.81, p.127-140, 2014.

BAKÓ-BIRÓ, Z. S.; CLEMENTS-CROOME, D. J.; KOCHHAR N.; AWBI H. B; WILLIAMS M. J. Ventilation rates in schools and pupils' performance. **Building and Environment**, v.48, p.215–223, 2012.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; JUNIOR, P. K.; VESKE R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre a influência na atenção e memória. **Produção**, v.19, p.477-488, 2009.

BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. Environmental Comfort in School Buildings: A Case Study of Awareness and Participation of Users. **Environment and Behavior**, v.38, p.155-172, 2006.

BLATTEIS, C. M. **Fisiologia e patofisiologia da regulação da temperatura**. Ed.: EDUSP, 1997.

CONCEIÇÃO, E. Z. E; LÚCIO, M. M. J.R. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom equipped with radiant cooling systems and subjected to uniform convective environment. **Applied Mathematical Modelling**, v.35, p. 1292-1305, 2011.

CORGNATI, S. P.; ANSALDI, R.; FILIPPI, M. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. **Building and Environment**, v.44, p. 785-792, 2009.

COUTINHO, A. S. **Conforto térmico e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Ed. Universitária, 2005.

DE GIULI V.; ZECCHIN R.; CORAIN V.; SALMASO L. Measured and perceived environmental comfort: Field monitoring in a Italian school. **Applied Ergonomics**, v..45, v. 1035–1047, Julho 2014.

DE GIULI, V.; DA POS, O.; DE CARLI, M., Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. **Building and Environment**, v.56, p. 335-345, 2012.

DIAS P. L. ; RAIMONDO, D.; CORGNATI, S. P.; DA SILVA, G. M. Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results. **Building and Environment**, v. 81, p. 69-80, 2014.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 2626-2640, 2010.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FROTA A.F.; SCHIFFER S. R. **Manual de conforto térmico**. 5a ed. São Paulo: Studio Nobel; 2001.

HAMZAH B.; ISHAK M. T.; BEDDU S.; Osman M. Y. Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. **Structural Survey**, v. 34, p.427-445, 2016.

HUSSIN, M.; ISMAIL, M. R.; AHMAD M.S. Subjective Perception of Thermal Comfort Study in Air-conditioned University Laboratories. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.91, p. 192- 200, 2013.

ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. 1995.

ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. 1998.

ISO 7730. **Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra, 2005.

JORGE W. Analogia no ensino da física. **Caderno Catarinense do Ensino da Física**. Florianópolis, v.7, n.3, p.196-202, 1990.

JUNG, G. J. ; SONG, S. K.; AHN, Y.; OH, G. S.; IM Y. B. Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea. **Jornal of Mechanical Science and Technology**, v.25, p. 503-512, 2010.

KATAFYGIOTOU M. C.; SERGHIDES D. K. Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. **Sustainable Cities and Society**, v.13, p. 303-312, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MINAYO, M.C.S; SANCHES, O. Quantitativo – Qualitativo: Oposição ou Complementaridade. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 9 (3): pp. 2390248, julho, 1193.

MISHRA A. K.; RAMGOPAL, M. Thermal comfort Field study in undergraduate laboratories – Analysis of occupant perceptions. **Building and Environment**, v.76, p. 62 – 72, 2014.

MISHRA, ASITKUMAR; RAMGOPAL, MADDALI. Thermal comfort in undergraduate laboratories — A Field study in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v.71, p. 223-232, 2014.

MISHRA, A.; RAMGOPAL, M. A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 84, p. 181-188, 2015.

MORS, S.; HENSEN J. L. M.; LOOMANS, M. G. L. C.; BOERSTRA, A. C. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v.6, p. 2454–2461, 2011.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2 a Edição ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

OROSA, J. A.; OLIVEIRA, A. C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. **Renewable Energy**, v. 36, pg. 951-956, 2011.

RAW, G. J.; OSELAND, N. A., Why another thermal comfort conference? In: Thermal comfort: past, present and future. **The Building Research Establishment**. Garston, p. 1–10, 1994.

TELI D.; JENTSCH M. F.; JAMES P. A. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, v.53, p. 166-182, 2012.

TELI D.; JENTSCH M. F.; JAMES P. A.B. The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in junior school classrooms as determined in Field studies. **Building and Environment**. v. 82, p. 640-654, 2014.

SAA A. **TRANSMISSÃO DE CALOR**. UNICAMP, 2006. Disponível em: <<http://vigo.ime.unicamp.br/~asaa/Calor.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.

WANG, Z. A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin. **Building and Environment**, v.41, p. 1034-1039, 2006.

WANG, Z.; LI, A.; REN, J.; HE, Y. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v.77, p. 192-196, 2014.

YANG, Y.; LI, B.; LIU, H.; TAN, M.; YAO, R. A study of adaptive thermal comfort in a well-controlled clima techamber. **Applied Thermal Engineering**, v.76, p. 283–291, 2005.

YAO, R.; LI, B.; LIU, JING. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). **Building and Environment**, v.44, p.2089 – 2096, 2009.

YUN, H.; NAM, I.; KIM, J.; YANG, J.; LEE, K.; SOHN, J. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, v.75, p. 182-189, 2014.

ZAKI S. A.; DAMIATI S. A.; RIJAL H. B.; HAGISHIMA A.; RAZAK A. A. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. **Building and Environment**, v. 122, p.294-306, 2017.

ZOMORODIAN, Z. S.; TAHLILDOOST, M.; HAFEZI, M. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.59, p. 895-906, 2016.

ANEXO 1- Questionário utilizado na avaliação da percepção térmica dos ocupantes

1. Informações pessoais.

Nome:		
Idade:	Altura:	Peso:
Sexo:		
Bancada:	Data:	

2. Marque com um X a vestimenta que está utilizando.

Roupas de baixo e acessórios		Calças	
Sapato com sola fina		Bermuda	
Sapa com sola grossa		Calça tecido fino	
Sandália/chinelo de dedos		Calça grossa de lã ou flanela	
Meia soquete fina		Calça de abrigo	
Meia soquete grossa		Macacão com mangas	
Meia até o joelho grossa		Macacão sem mangas	
Meia de nylon $\frac{3}{4}$		Vestidos e saias	
Meia calça		Saia leve de verão	
Cueca		Saia pesada de inverno	
Calcinha		Vestido de manga curta fino	
Sutiã		Vestido de manga longa fino	
Camisa de baixo manga curta		Vestido de manga longa grosso	
Camiseta de baixo manga longa		Casacos e suéteres	
Camisas e blusas		Colete fino	
Camisa de manga curta		Colete grosso	
Camisa manga longa tecido fino		Suéter de manga longa fino	
Camisa manga longa normal		Suéter de manga longa grosso	
Camisa manga longa de flanela		Jaqueta leve	
Moletom		Jaqueta normal	

Blusa leve fina manga longa		Jaqueta grossa	
Blusa leve fina manga curta		Paletó	
Blusa sem manga		Outros	
Camiseta			

3. Com relação a sensação térmica como você está se sentindo neste momento?

1.Com muito calor	
2. Com calor	
3. Levemente com calor	
4. Neutro	
5. Levemente com frio	
6. Com frio	
7. Com muito frio	

4. Com relação ao desejo térmico como você preferia estar se sentindo neste momento?

1. Bem mais quente	
2. Mais quente	
3. Um pouco mais quente	
4. Assim mesmo	
5. Um pouco mais frio	
6. Mais frio	
7. Bem mais frio	

4. Com relação ao conforto térmico como você está se sentindo nesse momento?

1. Confortável	
2. Levemente desconfortável	
3. Desconfortável	
4. Muito desconfortável	

APÊNDICE I – Rotinas utilizadas no software R

I)

```
#CARREGANDO QUADRO DE DADOS
dados=read.table(file.choose(),head=T);attach(dados)
SENSAÇÃO=ifelse(SENSAÇÃO<0,-1,ifelse(SENSAÇÃO>0,1,0))
library(rms)
m1=lm(SENSAÇÃO~Ta,y=TRUE,x=TRUE)
m1
#CÁLCULO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS
rpp=residuals(m1,type="pearson")
# ANALISANDO A FUNÇÃO DE VARIÂNCIA      # #Gráfico da variância dos
resíduos em função do preditor linear (analizando a função de variância)
pred.lin=predict(m1,type="lp")
plot(pred.lin,rpp)#Homogeneidade na distribuição dos pontos é um indicativo de
adequação da função de variância <-----
#VERIFICANDO A ADEQUAÇÃO DA FUNÇÃO DE LIGAÇÃO
u=pred.lin=predict(m1,type="lp")^2#Preditor linear ao quadrado
m1n=lm(sens[inst==1]~ta[inst==1]+u,y=TRUE)
lrtest(m1,m1n)#Se H0 for rejeitada (valor p < sig.), então a função de ligação é
inadequada <-----
#ANALISANDO A ADEQUAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO
#Gráfico qq-plot
rpp=residuals(m1,type="pearson")
p=seq(0,1,length=length(rpp))
t.qt=qnorm(p)
rpp.ord=sort(rpp)
plot(t.qt,rpp.ord); qqline(t.qt,rpp.ord,col=2,lwd=2) #Gráfico Q-Q Plot. Pontos próximos
da reta indicam adequação da distribuição
library(pscl)
pR2(m1)
anova(m1,test="Chisq")
confint(m1)
#Calculando as alavancagens
h=residuals(m1,type="hat")
plot(h,rpp,ylim=c(-2.5,2.5),xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos
padronizado",pch=16)
```

```

p=1;n=length(rpp)
p=1;n=length(rpp)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h,rpp,n=3)
dadosn=dados[-c(20,21),]
m1.1=lm(SENSAÇÃO~Ta,data=dadosn,y=TRUE,x=TRUE)
rpp1=residuals(m1.1,type="pearson")
h1=residuals(m1.1,type="hat")
plot(h1,rpp1,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp1)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h1,rpp1,n=3)
dadosn1=dadosn[-c(24,32,34),]
m1.2=lm(SENSAÇÃO~Ta,data=dadosn1,y=TRUE,x=TRUE)
rpp2=residuals(m1.2,type="pearson")
h2=residuals(m1.2,type="hat")
plot(h2,rpp2,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp2)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h2,rpp2,n=3)
dadosn2=dadosn1[-c(12),]
m1.3=lm(SENSAÇÃO~Ta,data=dadosn2,y=TRUE,x=TRUE)
rpp3=residuals(m1.3,type="pearson")
h3=residuals(m1.3,type="hat")
plot(h3,rpp3,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp3)

```

```

pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h3,rpp3,n=3)
dadosn3=dadosn2[-c(43),]
m1.4=lm(SENSACAO~Ta,data=dadosn3,y=TRUE,x=TRUE)
rpp4=residuals(m1.4,type="pearson")
h4=residuals(m1.4,type="hat")
plot(h4,rpp4,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp4)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h4,rpp4,n=3)
dadosn4=dadosn3[-c(21),]
m1.5=lm(DESEJO~ta,data=dadosn4,y=TRUE,x=TRUE)
rpp5=residuals(m1.5,type="pearson")
h5=residuals(m1.5,type="hat")
plot(h5,rpp5,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp5)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h5,rpp5,n=3)
dadosn5=dadosn4[-c(131,132,136),]
m1.6=lm(DESEJO~ta,data=dadosn5,y=TRUE,x=TRUE)
rpp6=residuals(m1.6,type="pearson")
h6=residuals(m1.6,type="hat")
plot(h6,rpp6,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp6)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)

```

```

abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h6,rpp6,n=3)
dadosn6=dadosn5[-c(47),]
m1.7=lm(des~Ta,data=dadosn6,y=TRUE,x=TRUE)
rpp7=residuals(m1.7,type="pearson")
h7=residuals(m1.7,type="hat")
plot(h7,rpp7,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp7)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h7,rpp7,n=3)
##Não há pontos de alavanca
#6#ANÁLISE DA ACURÁCIA DO MODELO
p_0=predict(m1.4,type="fitted.ind") [,1]
p_1=predict(m1.4,type="fitted.ind") [,2]
p_2=predict(m1.4,type="fitted.ind") [,3]
julg=ifelse(p_0>p1,0,ifelse(p1>p2,1,2))
table(julg,SENS)
acuracia=(23+95)/length(julg)
m2=lm(sens[inst==2]~ta[inst==2],y=T,x=T)
p0=predict(m1.7,type="fitted.ind") [,1]
p1=predict(m1.7,type="fitted.ind") [,2]
p2=predict(m1.7,type="fitted.ind") [,3]
julg=ifelse(p0>p1,-1,ifelse(p1>p2,0,1))
table(julg,SENS)
acurácia=(19+19+27)/79
#7# ANÁLISE DA CURVA ROC
p0=predict(m1.7,type="fitted.ind") [,1]
p1=predict(m1.7,type="fitted.ind") [,2]
p2=predict(m1.7,type="fitted.ind") [,3]
sens1=des
v0=ifelse(des==1,1,0)

```

```

v1=ifelse(des==0,1,0)
v2=ifelse(des==1,1,0)
library(ROCR)
par(mfrow=c(2,2))
predm0 = prediction(p0,v0)
perfpm0 = performance(predm0,"tpr","fpr")
plot(perfpm0,xlab="Falsos Positivos", ylab="Verdadeiros Positivos")
auc0=performance(predm0,"auc")
predm1 = prediction(p1,v1)
perfpm1 = performance(predm1,"tpr","fpr")
plot(perfpm1,xlab="Falsos Positivos", ylab="Verdadeiros Positivos")
auc1=performance(predm1,"auc")
predm2 = prediction(p2,v2)
perfpm2 = performance(predm2,"tpr","fpr")
plot(perfpm2,xlab="Falsos Positivos", ylab="Verdadeiros Positivos")
auc2=performance(predm2,"auc")

```

II)

#CARREGANDO QUADRO DE DADOS

```

dados=read.table(file.choose(),head=T);attach(dados)
ls(dados)
m1=glm(CONFORTO~Ta,family=binomial(link="logit"));summary(m1)
library(pscl)
pR2(m1.8)
anova(m1,test="LRT")
confint(m1)

```

#CÁLCULO DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS

```

library(boot)
rpp=glm.diag(m1)$rp
#1#ANALISANDO A FUNÇÃO DE VARIÂNCIA <--- GRÁFICOS DE RESÍDUOS
EM REGRESSÃO LOGÍSTICA SÃO PROBLEMÁTICOS
#Gráfico da variância dos resíduos em função do preditor linear (analisando a função de
variância)
pred.lin=predict(m1,type="link")
plot(pred.lin,rpp)#Homogeneidade na distribuição dos pontos é um indicativo de
adequação da função de variância <-----
#ou

```

```

library(boot);par(mfrow=c(2,2));glm.diag.plots(m1)
#2#VERIFICANDO A ADEQUAÇÃO DA FUNÇÃO DE LIGAÇÃO
u=predict(m1,type="link")^2#Preditor linear ao quadrado
m1n=glm(ac~exp+u,family=binomial(link="logit"))
anova(m1,m1n,test="LRT")#Se H0 for rejeitada (valor p < sig.), então a função de
ligação é inadequada <-----
###OBS:O fundamento desse método é mostrado em Cordeiro e Demétrio (2008,p.163)
#3#ANALISANDO A ADEQUAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO #OBS: GRÁFICOS DE
RESÍDUOS EM REGRESSÃO LOGÍSTICA SÃO PROBLEMÁTICOS
#Gráfico qq-plot
rpp=glm.diag(m1)$rp
p=seq(0,1,length=length(Ta))#Gerando uma sequência (CUIDADO!ALTERAR O
TAMANHO DA AMOSTRA AQUI, EM "length")
t.qt=qnorm(p)#Gerando números aleatórios de uma distribuição normal padrão
rpp.ord=sort(rpp)#Ordenando as componentes do desvio padronizadas
plot(t.qt,rpp.ord); qqline(t.qt,rpp.ord,col=2,lwd=2) #Gráfico Q-Q Plot. Pontos próximos
da reta indicam adequação da distribuição
#4#INVESTIGANDO A PRESENÇA DE PONTOS DE INFLUÊNCIA
INCONSISTENTES
#Calculando as alavancagens
h=influence(m1)$hat
plot(h,rpp,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp)
pc=2*p/n #(CUIDADO!ALTERAR O TAMANHO DA AMOSTRA(n) E O
NÚMERO DE VARIÁVEIS (p) AQUI, EM "p" e "n")
abline(v=pc,lwd=2,col=2) #Sendo p o número de variáveis e n o número de observações
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h,rpp,n=4)
##Eliminando 4 pontos de alavanca e reajustando o modelo
dadosn=dados[-c(42,46),]
m1.1=glm(CONFORTO~Ta,data=dadosn,family=binomial(link="logit"))
rpp1=glm.diag(m1.1)$rp
h1=influence(m1.1)$hat
plot(h1,rpp1,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp1)

```



```

pc=2*p/n      #(CUIDADO!ALTERAR O TAMANHO DA AMOSTRA(n) E O
NÚMERO DE VARIÁVEIS (p) AQUI, EM "p" e "n")
abline(v=pc,lwd=2,col=2) #Sendo p o número de variáveis e n o número de observações
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h,rpp,n=3)
##Eliminando mais 3 pontos de alavanca e reajustando o modelo
dadosn2=dadosn[-c(9,209,175,180),]
m1.2=glm(CONF1~Ta,data=dadosn2,family=binomial(link="logit"))
rpp3=glm.diag(m1.2)$rp
h2=influence(m1.2)$hat
plot(h2,rpp2,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp2)
pc=2*p/n      #(CUIDADO!ALTERAR O TAMANHO DA AMOSTRA(n) E O
NÚMERO DE VARIÁVEIS (p) AQUI, EM "p" e "n")
abline(v=pc,lwd=2,col=2) #Sendo p o número de variáveis e n o número de observações
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h2,rpp2,n=1)
dadosn3=dadosn2[-c(1,208,175),]
m1.3=glm(CONF1~Ta,data=dadosn2,family=binomial(link="logit"))
rpp3=glm.diag(m1.3)$rp
h3=influence(m1.3)$hat
plot(h3,rpp3,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp3)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h2,rpp3,n=1)
dadosn4=dadosn3[-c(1,208,175),]
m1.4=glm(CONF1~Ta,data=dadosn4,family=binomial(link="logit"))
rpp5=glm.diag(m1.4)$rp
h4=influence(m1.4)$hat
plot(h4,rpp5,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp5)

```

```

pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h4,rpp5,n=1)
dadosn5=dadosn4[-c(8,192,175),]
m1.5=glm(CONF1~Ta,data=dadosn5,family=binomial(link="logit"))
rpp6=glm.diag(m1.5)$rp
h5=influence(m1.5)$hat
plot(h5,rpp6,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp6)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h5,rpp6,n=1)
dadosn6=dadosn5[-c(10),]
m1.6=glm(CONF1~Ta,data=dadosn6,family=binomial(link="logit"))
rpp7=glm.diag(m1.6)$rp
h6=influence(m1.6)$hat
plot(h6,rpp7,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp7)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h6,rpp7,n=1)
dadosn7=dadosn6[-c(3),]
m1.7=glm(CONF1~Ta,data=dadosn7,family=binomial(link="logit"))
rpp8=glm.diag(m1.7)$rp
h7=influence(m1.7)$hat
plot(h7,rpp8,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp8)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)

```

```

abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h7,rpp8,n=1)
dadosn8=dadosn7[-c(3),]
m1.8=glm(CONF1~Ta,data=dadosn8,family=binomial(link="logit"))
rpp9=glm.diag(m1.8)$rp
h8=influence(m1.8)$hat
plot(h7,rpp8,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp9)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h8,rpp9,n=1)
##### eliminando
dadosn4=dadosn2[-c(4,209,175,180),]
m1.2=glm(CONF1~Ta,data=dadosn4,family=binomial(link="logit"))
plot(h2,rpp2,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp2)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h2,rpp2,n=1)
dadosn5=dadosn4[-c(9,209,175,180),]
m1.2=glm(CONF1~Ta,data=dadosn5,family=binomial(link="logit"))
plot(h2,rpp2,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=1;n=length(rpp2)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h2,rpp2,n=1)
#Eliminando mais um ponto de alavanca e reajustando o modelo
qd18n3=qd18n2[-118,]

```